

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

KATEDRA BOTANIKY



**Role vodní hladiny v životě vodních bezobratlých živočichů:
propojení fyziky a biologie ve výuce na základních a středních
školách**

Bakalářská práce

Kristýna MIHALOVÁ

Studijní program: Biologie pro vzdělávání

Studijní obor: Biologie pro vzdělávání / Fyzika pro vzdělávání (BIma-Fmi)

Forma studia: Prezenční

Vedoucí práce: RNDr. Ivona Uvírová, Ph.D.

Olomouc 2023

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně s vyznačením všech použitých pramenů a spoluautorství. Souhlasím se zveřejněním bakalářské práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách, ve znění pozdějších předpisů. Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, ve znění pozdějších předpisů.

V Olomouci dne.....

.....
Kristýna Mihalová

Poděkování

Děkuji vedoucí mé bakalářské práce RNDr. Ivoně Uvírové, Ph.D., za vedení, ochotu se vším poradit a především neskutečnou trpělivost. Déle také Mgr. Dominikovi Koutnému za odborné rady v oblasti fyziky.

V neposlední řadě, bych chtěla poděkovat mé mamince, která mě plně podporuje v mém studiu, a vším mým kamarádům a blízkým, kteří mi nikdy neváhali s touto prací nebo studiem pomoci.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora	Kristýna Mihalová
Název práce	Role vodní hladiny v životě vodních bezobratlých živočichů: propojení fyziky a biologie ve výuce na základních a středních školách
Typ práce	Bakalářská
Pracoviště	Katedra botaniky
Vedoucí práce	RNDr. Ivona Uvírová, Ph.D.
Rok obhajoby práce	2023

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou mezipředmětových vztahů ve výuce. Zaměřuje se na propojení biologie a fyziky na příkladu vybraných témat inspirovaných vodní hladinou. Vysvětluje fyzikální podstatu jevů, které souvisejí s životními aktivitami vodních bezobratlých živočichů tak, aby studenty motivovala hledat souvislosti mezi informacemi získanými během výuky jednotlivých předmětů. Představenými tématy jsou pohyb ploštic po vodní hladině, proražení vodní hladiny imagy hmyzu při kladení vajíček, adaptace očí vírníků na lom světla na hladině a transport vzduchu pod hladinu za účelem dýchání.

Klíčová slova	výuka fyziky, výuka biologie, bezobratlí vodní živočichové, mezipředmětové vztahy, vodní hladina
Počet stran	62
Počet příloh	0
Jazyk	český

Bibliographical identification

Autor's first name and surname	Kristýna Mihalová
Title	A Role of Water Surface in Lives of Aquatic Invertebrates: Crosscurriculum Link between Physics and Biology in Lessons at Primary and Grammar Schools
Type of thesis	Bachelor
Department	Department of Botany
Supervisor	RNDr. Ivona Uvírová, Ph.D.
The year of presentation	2023

Abstract

This bachelor thesis deals with crosscurriculum relationship in education. It focuses on connecting biology and physics using examples of selected topics, inspired by water surface. It explains physical nature of phenomena related to the life of aquatic invertebrates in a way that motivates students to seek connections between information acquired during the individual subjects' lessons. The presented topics are The movement of Heteroptera on the water surface, perforating of the water surface by imagos during egg-laying, the adaptation of whirligig beetle's eyes to light refraction on the water surface and the transportation of air under the water surface for the purpose of respiration.

Keywords	teaching physics, teaching biology, aquatic invertebrates, crosscurriculum link, water surface
Number of pages	62
Number of appendices	0
Language	Czech

Obsah

Úvod.....	1
Cíle.....	2
1 Mezipředmětové vztahy	3
1.1 Problémy v rámci mezipředmětových vztahů.....	3
1.2 Zapojení mezipředmětových vztahů do výuky	4
1.3 Integrace přírodovědných oborů	5
1.4 Mezipředmětové vztahy v rámci biologie a fyziky	7
2 Návrhy témat vhodných k použití ve výuce	11
2.1 Chůze po vodě – plošnice a povrchové napětí kapaliny	11
2.1.1 Biologický popis problému	11
2.1.2 Fyzikální popis problému.....	14
2.1.3 Využití ve výuce	16
2.2 Sestup pod hladinu – jepice a povrchová síla	21
2.2.1 Biologický popis problému	21
2.2.2 Fyzikální popis problému.....	24
2.2.3 Využití ve výuce	24
2.3 Padající vajíčka – vážky a mechanická energie	29
2.3.1 Biologický popis problému	29
2.3.2 Fyzikální popis problému.....	31
2.3.3 Využití ve výuce	33
2.4 Dvojí vidění – vírníci a lom světla.....	36
2.4.1 Biologický popis problému	37
2.4.2 Fyzikální popis problému.....	38
2.4.3 Využití ve výuce	40
2.5 Vzduch pod vodou – vodouch a dýchání	47

2.5.1	Biologický popis problému	47
2.5.2	Fyzikální popis problému	49
2.5.3	Využití ve výuce	51
3	Diskuze	54
	Závěr.....	57
	Zdroje	58
	Literatura	58
	Další zdroje	62

Úvod

Tato bakalářská práce představuje možnosti propojení učiva fyziky a biologie vodních bezobratlých živočichů na vybraných tématech souvisejících s vodní hladinou. Propojování těchto dvou oborů není tak běžné jako u jiných přírodních věd, avšak i zde lze nalézt řadu témat, které pronikají do obou zmíněných předmětů.

Toto téma jsem si vybrala proto, že fyzikální problémy jsou často pro žáky těžko uchopitelné, avšak pokud žákům daný jev přiblížíme pomocí situace, kterou ze svého okolí znají, pomůže to porozumění. Přestože bezobratlým živočichům žáci často nevěnují tolik pozornosti, jako jiným biologickým tématům, jsou jim daní jedinci, a některé pro ně typické vlastnosti, známy. Tohoto lze využít ve výuce fyziky při prezentaci jinak hůře představitelných témat. Téma vodní hladiny je jen jedno z mnoha, které propojení biologie s fyzikou nabízí.

Je také obecně známým faktem, že žáci si snadněji zapamatují učivo, je-li běžný výklad ozvláštněn a nejedná se jen o klasickou formu výuky. Nabízí se tedy možnost zavést do výuky různé aktivizační metody, a to ať už se jedná kupříkladu o zapojení žáků formou diskuze nebo pomocí různých experimentů.

Pokud se navíc žáci během výuky setkají s danými tématy několikrát v různých předmětech, budou nuceni si dříve probranou látku připomenout, což napomáhá k lepšímu upevnění učiva. Žáci takto nejen trénují svou paměť, ale vytváří si také ucelenější pohled na svět, jelikož nacházejí souvislosti mezi danými jevy.

V předložené práci jsem představila několik témat vhodných pro rozvoj mezipředmětových vztahů mezi biologií a fyzikou. Navrhla jsem také konkrétní teoretické i praktické postupy, které lze využít pro oživení vyučovacích hodin biologie a fyziky na základních a středních školách, při projektových dnech nebo v návaznosti na terénní exkurze.

Cíle

- Zpracovat literární řešerši týkající se zapojení mezipředmětových vztahů do výuky a konkrétních příkladů průřezových témat ve výuce biologie (přírodopisu) a fyziky v rámci základních a středních škol.
- Charakterizovat vybrané fyzikální jevy související s vodní hladinou, které ovlivňují život vodních bezobratlých živočichů.
- Vytipovat modelové organismy vhodné pro demonstraci těchto jevů a charakterizovat je.
- Navrhnout vhodné pokusy a didaktické postupy pro vysvětlení významu studovaných fyzikálních jevů v biologii vodních bezobratlých živočichů.

1 Mezipředmětové vztahy

Podle Janáse (1985) poznatky jednotlivých přírodních věd nestojí samostatně, ale jsou navzájem provázány, a to nejen v rámci jednoho vědního oboru, ale i mezi obory navzájem. Vztahy mezi poznatky napříč vědními obory označujeme jako mezioborové vztahy, zatímco vztahy mezi poznatky jednoho oboru lze označit jako vnitrooborové vztahy. Termín mezivědní vztahy poté označuje mezioborové i vnitrooborové vztahy. V přírodních vědách jsou mezivědní vztahy dány faktem, že přírodní zákonitosti jsou navzájem propojeny a nejedná se o oddělené celky.

Pokud bychom se podívali na mezioborové poznatky konkrétně v biologii, tak biologické jevy vyžadují pro úplné pochopení znalosti i z jiných vědních oborů, a naopak pomocí biologických poznatků lze vysvětlit nespočet dějů spadajících do jiných odvětví. K pochopení některých biologických fenoménů je výhodná znalost fyziky v oblasti energie, optiky, vlastností kapalin, mechanického vlnění, tepla a elektromagnetických jevů (průřezová témata převzata ze ŠVP Gymnázia Blovice pro vyšší gymnázium (2009)).

1.1 Problémy v rámci mezipředmětových vztahů

Na problémy související s mezipředmětovými vztahy upozorňuje již Skalková (1962). Uvádí, že jedním z hlavních problémů je nedostatečná kvalita ve znalostech studentů, jelikož u nich nedochází k propojování jednotlivých informací jak v rámci předmětů, natož mezi nimi. Žáci mají problém vnímat dané souvislosti i mezi velmi blízkými obory (jako je například matematika a fyzika). Na její práci navazuje Janás (1985), který, uvádí, že pro hlubší pochopení daného tématu jsou potřeba i znalosti z oborů, do kterých dané téma přímo nepatří, ale souvisí s nimi. Respektování mezipředmětových vztahů také umožňuje vyvíjet efektivnější metody vědeckého zkoumání. Trna (2005b) uvádí řadu problémů souvisejících se samostatnými oborovými didaktikami. Zmiňuje mimo jiné rozdílnost akademických a praktických požadavků, časté změny v obsahu přípravy učitelů i náplni vzdělání na základních a středních školách a zejména malý počet kvalifikovaných oborových didaktiků. Řešením by mohlo být zavedení mezioborových didaktik. Holubová (2019), která se zabývá výukou fyziky, zmiňuje, že děti narozené po roce 1994 jeví velmi malý zájem o technické obory.

Využití mezipředmětových vztahů ve výuce napomáhá k jejich motivaci, a tím ke zvýšení zájmu o dané obory.

Podle Skalkové (1962) je roztržitost jednotlivých poznatků problémem samotného vyučovacího procesu. Pedagogové podávají informace jednotlivě a roztržitě. Studenti poté nejsou schopni uplatnit znalosti získané z jednoho předmětu v jiných oblastech. Avšak problém s nepropojováním poznatků může vycházet už ze vzdělávání učitelů. Jak udávají Starý a Rusek (2019) učitelé jsou vzdělávání (i zaměstnávání) v rámci daných předmětů, což vytváření mezioborových vztahů komplikuje.

Důležité tedy je, aby si učitelé byli vědomi konkrétních mezipředmětových vztahů a zapojovali je do výuky. Starý a Rusek (2019) uvádí, že je třeba na propojení souvislostí mezi jednotlivými předměty upozorňovat při každé příležitosti, aby si žáci vytvořili komplexní pohled na svět. Naproti tomu Skalková (1962) upozorňuje, že pedagog si musí vybírat, které spojitosti ve výuce zmíní. Není potřeba informace spojovat při sebemenší příležitosti. Docházelo by pak k přetěžování žáků a k jejich přehlcování informacemi. Zmiňuje také, že nadměrné propojování poznatků by zničilo samotnou podstatu předmětů.

1.2 Zapojení mezipředmětových vztahů do výuky

Na jednotlivé souvislosti napříč předměty lze během výuky upozorňovat několika formami. Základním způsobem je jednoduché poukázání na dané poznatky během vyučovacích hodin. Při konkrétním propojení biologie vodních bezobratlých živočichů a fyziky lze použít typický příklad spojující tyto dva vědní obory – bruslačku a povrchové napětí vody. Při probírání povrchového napětí lze zmínit bruslačku (případně další bezobratlé, kteří tohoto jevu využívají), tím žákům připomenout, že už se o ní v minulosti učili v biologii nebo přírodopisu, a tím v nich vytvořit spojení, díky kterému si budou vědomi této souvislosti. Lze také postupovat opačně – v biologii zmínit, že bruslačka je schopna pohybovat se po vodní hladině díky jevu zvanému povrchové napětí vody, který bude žákům lépe vysvětlen v hodině fyziky. V tomto případě se nabízí, aby učitel fyziky následně připomněl, že v biologii již o povrchovém napětí slyšeli u bruslačky a navázat na látku dále. Pro toto propojování poznatků je potřebná komunikace mezi vyučujícími daných předmětů. Je také nutné, aby si jednotliví pedagogové uvědomovali znalosti svých žáků. Pokud by učitel biologie

(přírodopisu) pouze zmínil povrchové napětí (za předpokladu, že se o něm žáci ještě ve fyzice neučili) bez vysvětlení nebo odkázání se na (i budoucí) hodinu fyziky, v žácích by to pouze vyvolalo zmatek a nepochopení.

Lepším způsobem je aktivní spojování jednotlivých poznatků. Tento způsob opět zmiňuje již Skalková (1962). Jedná se o cílevědomé propojování znalostí žáků, díky kterému žáci nahlíží na daný problém z více úhlů. Učitel by neměl pouze poukazovat na dané souvislosti, ale snažit se o to, aby na ně žáci přišli sami. V biologii (přírodopise) tedy lze zmínit bruslařku a její schopnost pohybovat se po vodní hladině a poté se snažit, aby žáci sami přišli na to, díky čemu je tento pohyb možný (opět je však potřeba ověřit, jestli již žáci o povrchové napětí znají). Z tohoto důvodu je dobré tento způsob užívat na střední škole, kde by žáci měli mít základy všech potřebných znalostí z výuky na základní škole.

Čábalová (2012) dále zmiňuje samostatné práce žáků, jako prostředek pro uvědomování si daných souvislostí. Žáci by měli (s asistencí učitele) být schopni si získané znalosti vybavit a využít je k řešení zadaných úkolů. Starý a Rusek (2019) poté vymezují integrovanou tematickou výuku a projektovou výuku. Podle Čábalové (2012) je projektová výuka systém činností učitele a žáků. Žák si vybírá projekt, který souvisí s jeho životními zkušenostmi. Učitel plní roli poradce. Žák má odpovědnost za to, aby teoretickou i praktickou činností dosáhl požadovaného výsledku. Integrovaná výuka je v dnešní době populární téma a bude jí věnována další část textu. K zapojení těchto forem výuky do vyučovacího procesu vybízí také Bílek et al. (2008). Výhody projektové výuky shrnuje Holubová (2012a), podle ní se žáci učí klást si reálné cíle, hospodařit s časem, dovést započatou práci do konce a převážně řešit problémy z více úhlů pohledu. Projektová výuka navíc podporuje samostatnost, kritický přístup a odpovědnost. Upozorňuje také na problémy, kterým mohou čelit učitelé, jsou jimi například obtížné hodnocení výkonu práce žáků nebo organizační problémy, se kterými souvisí také nedostatečná kompetence některých vyučujících. Projekty je také nutno řádně promyslet, aby jejich realizace a výsledky význam daných poznatků.

1.3 Integrace přírodovědných oborů

Propojování přírodovědných oborů je velmi časté, jelikož vychází ze samotné podstaty toho, že jevy v přírodě jsou komplexní a nelze je rozčlenit čistě do

jednotlivých oborů. Pro jejich plné pochopení je teda potřeba znalostí ze všech přírodovědných oborů (Janás, 1985).

Již Skalková (1962) si uvědomuje vzájemnou provázanost přírodovědných oborů a nemožnost jejich úplného oddělení, avšak tvrdí také, že v pedagogickém systému je třeba dodržovat pevně danou strukturu přírodních věd. Tento názor je v dnešní době poněkud překonaný. V řadě zemí (například Německo, Velká Británie, Kanada nebo USA) je přistupováno k integrované výuce přírodovědných oborů v rámci jednoho předmětu. Je však nutno dodat, že silná propojenost těchto předmětů není jediným důvodem integrace. Často se může jednat také o snahu o ušetření peněz menší dotací vyučovacích hodin (Bílek et al., 2008).

Pokud bychom se podívali na projekt kurikula přírodních věd a techniky, který je používán v Kanadě pro 1.-8. ročník základní školy (The Ontario Curriculum, Grades 1-8: Science and Technology, 2022, 2022), lze si povšimnout, že učivo je zde rozděleno do čtyř základních linií (Životní systémy, Hmota a energie, Struktury a mechanismy a Země a vesmírné systémy). Z hlediska propojení fyziky a biologie, ve formě klasicky vyučované v České republice, je velmi zajímavým celkem „Hmota a energie“, jelikož zde se žáci učí o různých druzích energie. Probírají se poznatky spíše biologické, tedy získání energie z potravy nebo ze Slunce a využití energie živými organismy, ale i energie z pohledu mechaniky nebo elektřiny. Studenti si tak vytvoří spojení mezi jednotlivými druhy energie, které jsou v našem školském systému striktně odděleny do hodin biologie a fyziky. Přitom propojování těchto témat by mohlo mít příznivé účinky. Ve fyzice je řada témat těžko uchopitelných, avšak fakt, že lidé (a živočišné obecně) získávají energii například jídlem, je i mladším žákům dobře znám. Když učitel vytvoří souvislost mezi „fyzikálními“ a „biologickými“ energiemi, bude pro žáky jednodušší pochopit i ty energie, o kterých doposud neslyšeli.

Různí autoři se shodují, že v České republice by obdobný princip, tedy integrovaná výuka přírodovědných oborů, byl v současné době těžce realizovatelný. Podle Trny (2005a) by se mělo jednat o zastřešení příbuzných přírodovědných oborů jako jsou biologie, geologie, fyzika, chemie a geografie. S tím však souvisí hlavní problém, na který poukazují také Starý a Rusek (2019), a to je nedostatečná připravenost českých učitelů. Budoucí pedagogové nejsou v České republice vzděláváni v rámci všech zmíněných oborů, což vylučuje jejich kompetenci pro výuku takto

integrovaného předmětu. Jako řešení nabízí možnost vyučování daného předmětu více učiteli, avšak v tomto případě se již nejedná o pravou integraci. Bílek et al. (2008) popisují obdobnou situaci, která nastala v Bavorsku. Zde začalo k integraci biologie, fyziky a chemie docházet na konci minulého století. Problém s nedostatečnou kvalifikací tamních vyučujících se začal projevovat hned ze začátku. Na základě toho bylo provedeno několik změn v pregraduálním i v postgraduálním vzdělávání učitelů. V dnešní době jsou tedy učitelé již na vysokých školách připravováni v troj- nebo i čtyřkombinaci (na rozdíl od českých vysokých škol, kde je tradičně studována dvojkombinace). Podobný postup navrhuje Trna (2005a), který předpokládá, že současné dvouoborové kombinace budou upraveny na celou vzdělávací oblast pro učitele přírodovědy. Sám si však klade otázku, je-li možné současné učitele s dvouoborovým vzděláním doučit na učitele celého integrovaného předmětu. Důležité také je si uvědomit, že ne všichni pedagogové mají vystudovaný dvouobor, který by odpovídal dvěma předmětům z integrace (časté jsou například kombinace s matematikou), tito učitelé by se poté museli dozdělat hned ve třech oborech. Dalším problémem, který zmiňují Bílek et al. (2008) v souvislosti s výukou v Bavorsku se týká učebnic. Některé učebnice totiž nepodporují přímo integraci daných předmětů, ale pouze popisují jejich společnou výuku. Toto je dáno tím, že v Německu (stejně jako v České republice) byly tradičně tyto předměty vyučovány zvlášť. Je zde tedy zakořeněná oddělenost jednotlivých oborů, kterou uvádí Trna (2005b), podle něj však máme již vytvořený zárodek mezioborové didaktiky přírodních věd díky přírodovědě z prvního stupně základní školy.

1.4 Mezipředmětové vztahy v rámci biologie a fyziky

V České republice si každá škola tvoří svůj vlastní Školní vzdělávací program (ŠVP), který vychází z Rámcového vzdělávacího programu (RVP), který je vydáván Ministerstvem školství. RVP rozděluje celkový obsah do devíti (pro základní školy) (Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání, 2021) nebo osmi (pro gymnázia) (Rámcový vzdělávací program pro gymnázia, 2022) vzdělávacích oblastí. Biologie (nebo v případě základní školy Přírodopis) i Fyzika patří do vzdělávací oblasti Člověk a příroda. Starý a Rusek (2019) vysvětlují, že vznik této vzdělávací oblasti umožňuje zachovat oddělenou podobu předmětů, zároveň ale také umožňuje jejich integraci, a to převážně cíli, které jsou definovány v rámci oblasti společně, a ne

jednotlivě pro dané obory. RVP tedy dává školám prostor pro vytvoření propojených předmětů.

Konkrétní forma výuky předmětů již závisí na škole. Pro základní školy jsou v různých ŠVP uváděna jako průřezová témata mezi biologií a fyzikou například anatomie a fyziologie člověka (ŠVP Gymnázia a Obchodní akademie Orlová pro základní vzdělávání, 2020), život na Zemi, práce s lupou a mikroskopem (ŠVP Masarykovy základní školy Plzeň, 2021), biologie živočichů a konkrétně popis orgánů a jejich funkce (ŠVP Základní školy a mateřské školy Ostrava pro 2. stupeň, 2013) nebo třídění nerostů (ŠVP Základní školy Vidče, 2016). Zajímavostí může být fakt, že žádné zmíněné učivo není jako průřezové téma zmíněno ve více citovaných ŠVP. Řada škol také průřezová témata obecně ve svých ŠVP vůbec nezmiňuje.

V České republice je nejběžnější formou výuky ta, kdy je na středních školách probíráno obdobné učivo jako na základních školách (na 2. stupni), avšak je rozšířeno. Z toho vyplývá, že průřezová témata budou v rámci ŠVP stejná nebo nějaká přibudou. Jedná se konkrétně o rostliny, biologii živočichů, biologii člověka (ŠVP Gymnázia Blovice pro vyšší gymnázium, 2009), ekologii (ŠVP Gymnázia a Obchodní akademie Orlová pro gymnaziální vzdělávání, 2020), genetiku (ŠVP Gymnázia Olomouc – Hejčín, 2009). Lze konstatovat, že na tomto vyšším stupni vzdělávání jsou průřezová témata daleko častější a také se ve školních vzdělávacích programech často opakují.

Výše zmíněné učivo Život na Zemi propojuje biologii a fyziku v rámci učiva o Vesmíru. Zde nastává s mezipředmětovými vztahy poměrně velký problém, a to z toho důvodu, že v biologii (přírodopisu) je toto téma probíráno často úplně na začátku. Pokud bychom zůstali u základní školy, jedná se o šestou třídu (Pelikánová et al., 2021). Avšak učivo Země a Vesmír je ve fyzice probíráno často naopak až na úplném konci – v deváté třídě (Randa et al., 2021a). Žáci tedy například o atmosféře již slyšeli, ale pravděpodobnost, že si vybaví podrobně učivo, které je pro ně přes tři roky staré, je poměrně malá. Proto je lepší k propojení těchto dvou celků přicházet až na střední škole.

Práce s lupou a mikroskopem je jedním z ukázkových témat propojení biologie (přírodopisu) a fyziky. Mikroskop je jednou ze základních pomůcek při laboratorních pracích v biologii (přírodopise), avšak princip, jakým funguje je čistě fyzikální záležitost. Jedná se tedy o učivo, které lze probírat v obou předmětech. Navíc práce

s mikroskopem slouží jako přímé praktické ověření toho, co se žáci naučí ve fyzice teoreticky. Mikroskopy jsou často prvně využity při učivu o rostlinách, kde se žáci setkávají s prvními laboratorními pracemi (Pelikánová et al., 2021).

U třídění nerostů v rámci geologie lze využít znalosti z fyziky jako jsou hustota nebo elektrický náboj. Minerály mají řadu fyzikálních vlastností. Lze je dělit podle hustoty, nabízí se tak možnost zopakovat žákům již známé poznatky. Mohou například zkusit pomocí různých metod hustotu změřit a poté pomocí tabulek identifikovat dané látky. Minerály navíc mohou vykazovat magnetické nebo elektrické vlastnosti, nabízí se tedy připomenout ku příkladu vodivost. Další vlastností některých minerálů, kterou mohou žáci znát z fyziky, je radioaktivita (Matyášek a Hrubý, 2017).

U živočichů lze najít průřezových témat několik. U bezobratlých živočichů je naprostým didaktickým příkladem již zmíněný pohyb bruslařky nebo vodoměrky po vodní hladině. Lze tak přímo demonstrovat povrchové napětí u kapalin. Tento příklad je uváděn i v učebnicích fyziky (Randa et al., 2021b). Dalším příkladem průřezových témat je hydrostatický tlak a následná adaptace vodních živočichů, tedy jak pohyb v jiných částech vodního sloupce ovlivňuje jejich tvar těla a způsob života. Dále optika a akustika a jak se liší vývoj a uspořádání smyslových soustav různých skupin živočichů v závislosti na prostředí. Někteří živočichové (zejména paryby) vykazují schopnosti elektrorecepce. Na otázku, proč je tomu tak pouze u vodních živočichů, nalezneme odpověď v učivu fyziky o elektřině a magnetismu. Tuto látku lze využít také v učivu o etologii. Je možno také zmínit vnitřní teplo a práci při probírání schopnosti termoregulace (Jelínek a Zicháček, 2007).

Znalosti učiva optiky a akustiky mohou být velmi užitečné také při vysvětlování smyslových orgánů člověka. Aby žáci plně pochopili, jak lidé dokáží slyšet, potřebují vědět, co zvuk je a jak se šíří. Obdobně je tomu tak i u zraku. Je potřeba být si vědom fyzikální podstaty světla, že ne všechny vlnové délky elektromagnetického záření jsou lidé schopni vnímat, případně jakým barvám odpovídají konkrétní vlnové délky. Způsob, jakým prochází světelný paprsek okem, lze navíc opět probrat i v hodinách fyziky. Základní znalosti fyziky je možné uplatnit také u dýchací soustavy a výměny plynů nebo u oběhové soustavy a kapilár (Jelínek a Zicháček, 2007).

V genetice lze okrajově zmínit učivo jaderné fyziky – radioaktivitu, a to při vysvětlování mutagenity některých fyzikálních faktorů a možnostech ovlivnění genetické informace (Jelínek a Zicháček, 2007).

Ani v ekologii není počet průřezových témat velmi obsáhlý. Mezi abiotické faktory prostředí patří sluneční záření a jeho vliv na organismy, což je opět učivo převážně optiky, na které lze ve výuce biologie navázat (Jelínek a Zicháček, 2007).

2 Návrhy témat vhodných k použití ve výuce

V následující části je navrženo několik příkladů, jak lze využít mezipředmětové vztahy a propojit výuku biologie vodních bezobratlých živočichů a fyziky. Příklady byly vymyšleny tak, aby reprezentovaly různá fyzikální témata a také, aby bezobratlí živočichové, kteří s daným fyzikálním jevem souvisejí, byli v České republice hojně zastoupeni nebo byli uváděni při výuce přírodopisu nebo biologie a byli tak známí žákům na základních a středních školách.

2.1 Chůze po vodě – ploštice a povrchové napětí kapaliny

Jak již bylo zmíněno v první kapitole, schopnost některých rodů hmyzu využívat povrchové napětí kapaliny (konkrétně vody), je velmi oblíbeným příkladem propojení biologie vodních bezobratlých živočichů a fyziky. Typickými jsou zde zástupci z podřádu ploštice (*Heteroptera*). Nejčastěji se hovoří o bruslařce nebo vodoměrce, do této skupiny však patří například také hladinatka (Sedlák, 2003).

Ploštice nejsou jedinou skupinou adaptovanou k pohybu po hladině. Lze zmínit některé plže (*Gastropoda*), avšak u nich je princip poněkud odlišný, jelikož se pohybují po spodní straně vodní hladiny a využívají k pohybu hlenové pásky. Druhy korýšů (*Crustacea*) rodu *Scapholeberis* (převážně tedy *Scaphloberis mucronats*) patřícího do řádu perlooček (*Cladocera*) mají okraje skořápek protaženy v trny, kterými se přichycují ke spodní straně hladiny, což jim umožňuje rychlý pohyb. Podobně tomu tak je i u druhu ze třídy lasturnatek (*Ostracoda*) *Notodromas monacha*, který se také pohybuje zavěšen na hladinové blance. Chvostoskoci (*Collembola*) pro změnu k uchycení na hladině využívají jejich specializovaný aparát furku, která slouží na souši k únikové reakci v podobě skoku. Lze také zmínit zástupce řádu chrostíci (*Trichoptera*) nebo larvy čeledi komárovití (*Culucidae*). Všichni tito zástupci využívají povrchové napětí a jsou tak schopni žít na vodní hladině (Lellák et al., 1982). Důvodem proč se některé druhy rozhodly k životu na hladině je zejména konkurenční boj (Ward, 1992).

2.1.1 Biologický popis problému

Všechny výše zmíněné rody ploštic patří do infrařádu *Gerromorpha*. Zástupci se živí dravě a vyskytují se na březích vod nebo přímo na vodní hladině (Buchar et al., 1995), k čemuž jim napomáhají hydrofobní chloupky na spodní straně těla a na

chodidlech, díky kterým jsou schopni klouzavého pohybu po hladině (Sedlák, 2003). Ploštice žijící na hladině mají další adaptace pro tento specifický způsob života. Patří mezi ně malá velikost, hydrofobní kutikula, extrémně prodloužené nohy a tělo uzpůsobené k rozložení váhy na velkou plochu vodní hladiny. Jejich končetiny jsou vybaveny zatahovatelnými smočitelnými drápy. Při pohybu dojde k ponoření střední části *tarsi*, která je zatlačena směrem dolů a dozadu, čímž se vytvoří kruhovitá vlna. Ploštice poté využijí vršek této vlny jako podpěru pro prudké vystřelení vpřed (obdobně jako běžci využívající startovací blok). Někteří jedinci jsou navíc schopni vylučovat látky snižující povrchové napětí, což je vystřelí vpřed, díky čemuž mohou cestovat vysokou rychlostí na krátké vzdálenosti (Ward, 1992).

Bruslařka

Bruslařky patří do čeledi bruslařkovití (*Gerridae*) (Kolibáč et al., 2019). Živí se utopeným hmyzem spadlým do vody (Sedlák, 2003), který loví zkrácenými předními končetinami. Synchronizovaný pohyb dlouhých končetin druhého a třetího páru umožňuje chůzi po hladině. Směr pohybu udávají zadní končetiny (Rietschel, 2015).

Bruslařka obecná (*Gerris lacustris*), která je zachycena na obr. 2.1.1, je naší nejběžnější bruslařkou a dorůstá velikosti 7,5-10,2 mm. Má černohnědé zbarvení a světlá stehna se dvěma tenkými černými pásky. Tímto se odlišuje od dalších bruslařek žijících v našich podmínkách. Lze ji najít na všech typech stojatých i tekoucích vod (Kolibáč et al., 2019), avšak Sedlák (2003) zmiňuje pouze vody stojaté a Rietschel (2015) uvádí především malé stojaté tůňky, případně břehy mírně tekoucích vod. Vyskytuje se v makropterní (létavé) i brachypterní (nelétavé, avšak křídla jsou zachována, pouze zkrácená) formě (Kolibáč et al., 2019).

Na našem území lze nalézt také bruslařku rybničnou (*Aquarius paludum*). Ta je výrazně větší než výše zmíněný rod *Gerris*, dorůstá délky od 12,8 do 16,4 mm. Má šedočerné zbarvení. Vyskytuje se častěji v makropterní formě, lze však nalézt i brachypterní formy (Kolibáč et al., 2019). Osidluje převážně hladiny větších stojatých vod (Buchar et al., 1995) nebo pomalu tekoucích řek (Kolibáč et al., 2019).

Podobné velikosti (13-16,5 mm) dorůstá také bruslařka rzivoštitá (*Limnporus rufoscutellatus*). Má však o něco světlejší zbarvení než rod *Aquarius*, je hnědá s rezavou skvrnou na štítě. Liší se také areálem výskytu, lze ji nalézt převážně na menších,

zarostlých hladinách stojatých vod (tůně, rybníky, rašeliniště) nebo na zarostlých zátokách menších řek. Vyskytuje se pouze v makropterní formě (Kolibáč et al., 2019).



Obrázek 2.1.1 Bruslařka obecná na vodní hladině. Autor fotografie: Jirka Palička (<https://www.megapixel.cz>)

Vodoměrka

Vodoměrky patří do čeledi vodoměrkovití (*Hydrometridae*) (Kolibáč et al., 2019). Od bruslařek se liší užším a delším tělem a končetinami, které jsou všechny dlouhé (Sedlák, 2003).

Nejběžnějším zástupcem je vodoměrka štíhlá (*Hydrometra stagnorum*). Ta dorůstá délky 8,5-12,2 mm. Její tělo je protáhlé a tmavě hnědé. Obvyklá je makropterní forma. Vyskytuje se po celém území České republiky na zarostlých okrajích stojatých nebo pomalu tekoucích vod (Kolibáč et al., 2019). Lze ji pozorovat také na otevřené hladině, kde však pouze loví (Sedlák, 2003). Mimo spadlý a utonulý hmyz se živí také larvami komárů, které kvůli nadechnutí vyplavou k vodní hladině (Rietschel, 2015).

Hladinatka

Hladinatky patří do čeledi hladinatkovití (*Veliidae*) (Kolibáč et al., 2019). Všechny končetiny jsou stejně jako u vodoměrek stejně dlouhé, avšak jsou výrazně kratší (Sedlák, 2003).

Hladinatka člunohřbetá (*Velia caprai*) dorůstá délky 5,8-6,8 mm. Její zbarvení je černé (Kolibáč et al., 2019), avšak na hrudi a zadečku jsou bílé skvrnky (Rietschel, 2015). Lze ji nalézt spíše ve středních až vyšších polohách na klidných úsecích potoků a menších čistých říčcech (Kolibáč et al., 2019).

Příbuzná hladinatka plochohřbetá (*Velia saulii*) se liší areálem výskytu, jelikož tento druh lze najít spíše na větších říčkách v teplejších polohách. hlavním morfologickým rozdílem jsou samčí genitálie (Kolibáč et al., 2019).

Při březích zarostlých stojatých vod se vyskytuje také hladinatka rybničná (*Microvelia reticulata*). Její velikost se pohybuje od 1,3 do 1,9 mm. Její tělo je černé s dvoubarevnými stehny a na štítu za hlavou má dvě cihlové skvrny. Většinou se vyskytuje v apterní (bezkrídle) formě, avšak lze nalézt také makropterní jedince (Kolibáč et al., 2019).

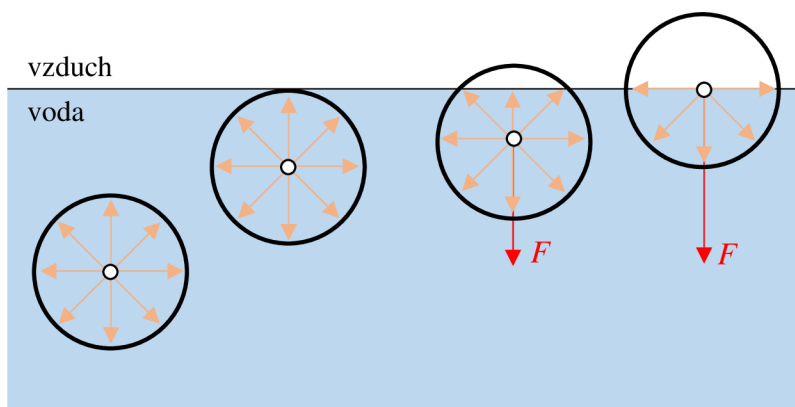
2.1.2 Fyzikální popis problému

Povrch kapaliny se chová jako tenká pružná blána. Vzdálenosti mezi molekulami jsou velmi malé – řádově 10^{-10} m (malé v porovnání s plyny, které se také označují jako tekutiny). Díky tomu na sebe molekuly působí přitažlivými silami, které mají velký vliv převážně na povrch kapaliny (Bartuška a Svoboda, 2007).

Přitažlivé (kohezní) síly molekul rychle klesají s rostoucí vzdáleností mezi nimi. Kolem každé molekuly je možno opsat kouli o poloměru r_m , který je tak velký, aby síly, které působí mimo tuto kouli, bylo možno jednoduše zanedbat. Tato myšlenková koule se označuje jako sféra molekulového působení. Poloměr r_m řádově odpovídá 1 nm (10^{-9} m), což je několik mezimolekulových vzdáleností (Bartuška a Svoboda, 2007).

Výslednice sil bude záviset na poloze molekuly v kapalině. Výslednice přitažlivých sil molekuly, u které se celá sféra molekulového působení nachází uvnitř kapaliny, bude nulová. Jelikož se jedná o kouli, je možné ke každé síle F_1 nalézt stejně velkou sílu $-F_1$, která bude působit v opačném směru. Tím dojde k vyrušení vzájemného působení těchto dvou sil. Avšak u molekuly, jejíž sféra molekulového působení sahá částečně nad hladinu, bude výslednice sil nenulová, kolmá na hladinu a bude směřovat dovnitř kapaliny. To z toho důvodu, že síly, které jsou rovnoběžné s povrchem kapaliny se vyruší, avšak v části sféry, která je nad povrchem kapaliny, interagují molekuly s molekulami plynu, který je okolo (nejčastěji se jedná o vzduch nebo páru), jelikož je hustota molekul plynu výrazně menší než hustota molekul kapaliny, bude i jejich

přitažlivá síla menší, a protější síly se tedy nevyruší. Toto zobrazuje obr. 2.1.2. Vrstva molekul se sférami molekulového působení přesahujícími hladinu kapaliny se označuje jako povrchová vrstva (Bartuška a Svoboda, 2007). Tato vrstva zasahuje řádově do hloubky 10^{-9} m a molekuly zde působí na zbytek kapaliny tzv. kohezním tlakem. Tento tlak nelze přímo měřit, ale je možno jej vypočítat. Pro vodu byla určena poměrně vysoká hodnota 10^9 Pa (Holubová, 2012b).



Obrázek 2.1.2 Znázornění sfér molekulového působení a sil působících na molekuly v různých částech kapaliny, kde červená síla F je výslednicí působících sil (podle Bartuška a Svoboda (2007), upraveno).

Fyzikální vlastnosti povrchové vrstvy se liší od vlastností zbylých vrstev kapaliny. Má větší soudržnost a chová se jako pružná blána. V momentě, kdy na kapalinu nepůsobí vnější síly, zaujme takový tvar, aby byl molekulový tlak všude kolmý k povrchu kapaliny. To odpovídá (při menším množství) tvaru koule (Holubová, 2012b). Tento tvar má také minimální povrchovou energii, což je energie, která je potřebná dodat molekulám z jiných vrstev, aby mohly přejít do povrchové vrstvy kapaliny. Povrchová vrstva se také snaží, aby povrch kapaliny zaujímal co nejmenší plochu (Bartuška a Svoboda, 2007).

Síly molekul, které jsou rovnoběžné s vodní hladinou, vyvolávají povrchové napětí kapaliny. Právě tyto síly mají za následek snahu kapaliny o změnu svého povrchu a nazývají se povrchovými silami kapaliny. Povrchové napětí σ lze definovat pomocí povrchových sil F , které působí na okraj povrchové blány kapaliny, jejíž délku lze označit l , jako

$$\sigma = \frac{F}{l}. \quad (2.1.1)$$

Jedná se o skalární veličinu, jejíž jednotkou je $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ (Holubová, 2012b). Povrchové napětí vyjadřuje pružnou vlastnost povrchové vrstvy. Jeho hodnota se odvíjí od druhu kapaliny a prostředí nad kapalinou. Závisí také na teplotě, s rostoucí teplotou klesá. Pro rozhraní vzduchu a vody (při teplotě $20\text{ }^{\circ}\text{C}$) je jeho hodnota $73\text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$ (Bartuška a Svoboda, 2007).

2.1.3 Využití ve výuce

Pro demonstraci následujících fyzikálních úloh byla vybrána bruslařka obecná (*Gerris lacustris*) a to z toho důvodu, že se jedná o velmi rozšířený a již na základní škole známý druh. Výpočty lze provést i s jinými zástupci, hodnoty se však budou lišit.

Hmotnost bruslařky

Pomocí povrchového napětí vypočítáme hmotnost bruslařky. Pro výpočet lze použít vztah (2.1.1). Hodnotu σ pro rozhraní vody a vzduchu známe: $\sigma = 73\text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$. Z pozorování bruslařky lze odhadnout, že délka části končetin, kterou se bruslařka dotýká vodní hladiny je k poměru k tělu přibližně třetinová (jedná se o velmi hrubý odhad, avšak pro úlohy na základních nebo středních školách bude dostačující). Víme, že velikost bruslařky obecné se pohybuje mezi 7,5 a 10,2 mm, průměrem je 8,85 mm (zaokrouhleně 9 mm). Délka nohou dotýkajících se hladiny je asi 3 mm, měření provedli Hu et al. (2003), jejichž výsledek odpovídá našemu odhadu. Bruslařka má čtyři končetiny, které jsou delší a pomocí kterých se pohybuje po hladině, zbylé dvě jsou zkrácené a slouží k lovu potravy. Přestože i tyto přední končetiny mohou být v klidu položeny na hladině, jejich velikost je zanedbatelná. Počítáme tedy s čtyřmi končetinami o délce 3 mm, je však celá délka okraje kapaliny, který je v kontaktu s živočichem, a proto musíme každou končetinu započítat dvakrát, jak zobrazuje obr. 2.1.3. Šířka nohou je zanedbatelná, proto stačí počítat pouze s oběma stranami délky končetin. Síla, která drží bruslařku na hladině, má stejnou velikost jako tíhová síla F_g , kterou bruslařka působí na vodní hladinu, tedy

$$F_g = m \cdot g, \quad (2.1.2)$$

kde m je hmotnost a g je tíhové zrychlení, které pro naši zeměpisnou šířku odpovídá hodnotě $g = 9,81\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (Svoboda et al., 2013). Tato hodnota bývá převážně na základních školách často zaokrouhlována na hodnotu $g = 10\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Nyní máme k dispozici vše potřebné k výpočtu hmotnosti bruslařky.



Obrázek 2.1.3 Náčrt bruslařky na vodní hladině a znázornění míst, kde se dotýká povrchu. Autor nákresu: Kristýna Mihalová

Vyjdeme ze vztahu (2.1.1), kde dosadíme sílu ze vztahu (2.1.2), čímž dostaneme rovnici:

$$\sigma = \frac{F}{l} = \frac{m \cdot g}{l},$$

ze které vyjádříme hmotnost m , jako:

$$m = \frac{\sigma \cdot l}{g}.$$

Je nutné převést jednotky do základního tvaru, takže $\sigma = 73 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1} = 73 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$, $l' = 3 \text{ mm} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$.

Po dosazení:

$$m = \frac{73 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{10} \text{ kg}$$

$$m = 1,752 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cong 0,2 \text{ mg}.$$

Vypočítaná hodnota je velmi hrubá, avšak pro vytvoření představy bude dostačující. Ve studii, kterou provedli Batorczak et al. (1994), jejíž součástí bylo vážení makropterních a brachypterních samic byla jejich hmotnost určena jako $12,75 \pm 2,03$ mg (makropterní), případně $12,97 \pm 1,32$ mg.

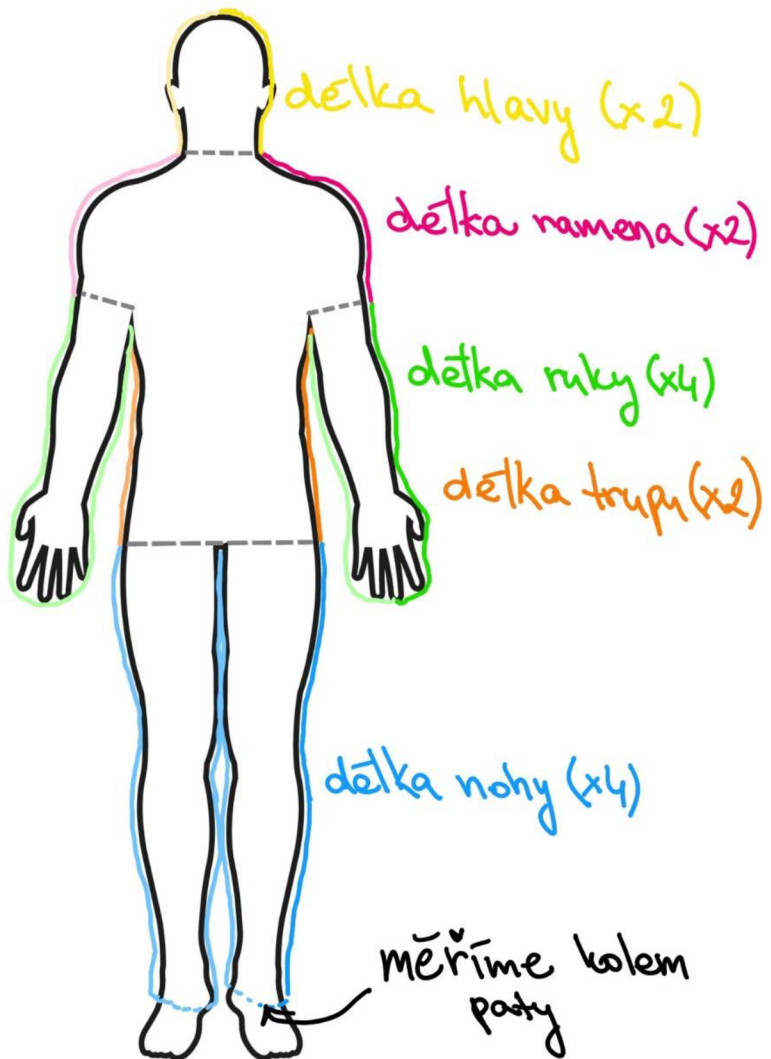
Unese vodní hladina člověka?

Pokud bychom se zaměřili na bruslařku na vodě, lze si povšimnout, že její končetiny nejsou plně ponořené, ale pouze vodu „ohýbají“, jak již bylo zmíněno, spodní části končetin jsou vybaveny hydrofobními chloupky. Proč tedy, když si člověk lehne na vodu, částečně se potopí a neprohne pod sebou hladinu obdobně jako bruslařka? Podobným postupem, jaký byl použit pro výpočet hmotnosti bruslařky, lze vypočítat jakou maximální hmotnost by musel mít člověk, aby jej rovněž unesla síla molekul v povrchové vrstvě. K tomuto budeme potřebovat krejčovský metr, kterým změříme délku rukou, nohou (je třeba měřit až ke konečkům a patě, abychom pokryli jejich šířku), trupu po podpaží, šířku ramen a výšku krku a hlavy. Měření znázorňuje obr. 2.1.4. Tmavší barvou je znázorněno, které úseky budeme měřit a světlou, co už potřeba měřit není. S využitím rozměrů uvedených v tab. 2.1.1 lze výpočet provést následovně.

Tabulka 2.1.1. Naměřené hodnoty délek částí těla¹

Část těla	Naměřená délka [cm]
Noha	80
Ruka	70
Trup	47
Ramena	16
Hlava	32

¹ Pro měření byla využita žačka deváté třídy.



Obrázek 2.1.4 Náčrt k měření obvodu těla ležícího na vodě (licencováno a upraveno)

Je potřeba započítat délku nohou a rukou čtyřikrát, jelikož potřebujeme vnější i vnitřní stranu obou končetin, zbylé délky započítáme dvakrát. Výsledná délka obvodu těla je tedy:

$$l = 4 \cdot 80 + 4 \cdot 70 + 2 \cdot 47 + 2 \cdot 16 + 2 \cdot 32 = 790 \text{ cm} = 7,9 \text{ m}$$

Vyjádření hmotnosti ze vztahu (2.1.1) použijeme z minulého příkladu. Máme tedy

$$m = \frac{\sigma \cdot l}{g}$$

$$m = \frac{73 \cdot 10^{-3} \cdot 7,9}{10} \text{ kg}$$

$$m = 0,058 \text{ kg} = 58 \text{ g.}$$

Tato hodnota se zdá být velmi malá, nicméně je třeba si uvědomit, že je skoro 300 000krát větší než vypočítaná hmotnost bruslařky.

Splývání je možné díky vztlakové síle vody a faktu, že lidské tělo je z většiny tvořeno vodou. Při splývání lidské tělo zasahuje daleko hlouběji než do povrchové vrstvy. V učebnici fyziky pro sedmé třídy Randa et al. (2021b) je však vztlaková síla zmíněna až v kapitole po povrchovém napětí. Nabízí se tak volný přechod k následujícímu tématu. V učebnici pro střední školy z nakladatelství Prometheus je vztlaková síla zařazena do mechaniky (Svoboda et al., 2013), zatímco povrchové napětí je zde součástí učebnice Molekulová fyzika a termodynamika (Bartuška a Svoboda, 2007), což je učivo probírané tradičně až v dalším ročníku.

Pro zajímavost lze v hodině uvést roboty, kteří jsou konstruováni po vzoru bruslařky a dalších zástupců infrařádu *Gerromorpha*, a jsou tak schopni pohybu po vodní hladině (Suhr et al., 2005).

2.2 Sestup pod hladinu – jepice a povrchová síla

Tématem předchozí kapitoly byla vodní hladina, jakožto místo pro život. Povrchové napětí využívá řada živočichů k pohybu z obou stran hladiny. Pro tyto jedince se jedná o konkurenční výhodu, avšak pro jiné může povrchová vrstva představovat překážku. Larvy řady bezobratlých živočichů žijí ve vodě, i přes to, že dospělci jsou suchozemští. Z toho důvodu je potřeba, aby samičky nakladly vajíčka pod vodní hladinu, a larvy se tak mohly vylíhnout ve vodním prostředí, toho lze docílit několika způsoby. Zástupci některých čeledí vážek (*Odonata*) nebo jepic (*Ephemeroptera*) shazují vajíčka během letu na vodní hladinu, případně noří konec zadečku pod hladinu. Řada živočichů, jako jsou ku příkladu chrostíci (*Trichoptera*), sestupuje do vody celá, přičemž jsou obaleni tenkou vrstvou vzduchu, která jim umožňuje dýchat. Sestup provádí zejména po kamenech, rostlinách nebo jiných pevných předmětech vystupujících z vody. Těmto živočichům povrchové síly naopak brání při ponoření a je třeba vyvinout strategie usnadňující překonání povrchové vrstvy (Lellák et al., 1982).

2.2.1 Biologický popis problému

Typickými bezobratlými živočichy s larvami žijícími ve vodě a dospělci na souši jsou oba recentní řady nadřádu starokřídli (*Paleoptera*)² jepice (*Ephemeroptera*) a vážky (*Odonata*). Zástupci patřící mezi starokřídle mají vkloubení křídel primitivní, což má za následek, že v klidu jsou křídla rozevřená. Liší se také ve vzhledu tykadel, která jsou krátká a štětinovitá (Sedlák, 2003).

Jepice jsou pravděpodobně nejstarší hmyz. Zástupci se vyskytují po celém světě. Velikosti dospělců se pohybuje od 3 do 40 mm. Dospělci mají, stejně jako larvy, kousací ústní ústrojí, které u nich však zakrňuje (Lellák et al., 1982). Střevo imag je také nefunkční a je vyplněno vzduchem. Z těchto důvodů žijí dospělci pouze krátce (několik hodin až dní). Jepice mají dva páry křídel, z nichž zadní bývá menší případně může chybět. Larvy žijí ve sladkých vodách. Živí se detritem a řasami, které seškrabují z kamenů. Na zadečku mají dva dlouhé štěty a tracheální žábra. Jepice mají přeměnu nedokonalou, larvy procházejí několika (přibližně dvanácti) stádii vývoje – instary, z čehož nejzajímavějším je tzv. subimago (polodospělec, což je poslední stádium vývoje

² Někteří entomologové považují členění hmyzu do podřádu starokřídli a novokřídli (*Neoptera*) pouze za pomocné.

larvy a jedná se o mezistupeň mezi larvou a dospělcem (Sedlák, 2003). Toto stádium je známo pouze u jepic (Lellák et al., 1982) a na rozdíl od dospělého má matná křídla a kratší končetiny (Kolibáč et al., 2019).

Samičky rodů *Ephemerella* a *Heptagenia* shazují vajíčka v chuchvalcovitých útvarech během letu na vodní hladinu. Rod *Polymitarcis* tvoří obdobné útvary, avšak samičky potápí konec zadečku pod hladinu, voda způsobí uvolnění snůšky a vajíčka vypadnou do vody. Larvy rodu *Baetis* žijí v tekoucích vodách, z toho důvodu samičky potřebují vajíčka upevnit na kameny nebo rostliny, po kterých také pod hladinu slézají. Jsou přitom obaleny tenkou vrstvou vzduchu (Lellák et al., 1982). Lellák et al. (1982) zmiňují asi 75 druhů jepic vyskytujících se na našem území, zatímco Buchar et al. (1995) hovoří o více než 90. Sedlák (2003) uvádí jako běžné druhy jepici obecnou (*Ephemera vulgata*), jepici dvoukřídrou (*Cloeon dipterum*), což je v České přírodě jediná jepice rodící již vylíhlé larvy (tzv. viviparie) (Lellák et al., 1982), nebo jepici předjarní (*Baetis rhodani*) zachycenou na obr. 2.2.1.



Obrázek 2.2.1 Dospělec jepice předjarní. Autor fotografie: Jan Myšák
(<https://www.biolib.cz>)

Oproti jepicím je kousací ústní ústrojí vážek nezakrnělé. Křídla dospělců jsou štíhlá a oba páry jsou přibližně stejně velké. Larvy i dospělci jsou draví. Dospělí jedinci za letu loví potravu svými končetinami. Larvy mají tzv. lapací masku, což je přeměněný

spodní pysk, kterým loví potravu prudkým vymrštěním vpřed. Larvy podřádu motýlice (*Zygoptera*) mají na zadečku vnější tracheální žábry tvořící tři přívěsky. Larvy podřádu šídla (*Anisoptera*) přívěsky na zadečku nemají, dýchají pouze vnitřními tracheálními žábry v zadečku. Díky tomu mají také schopnost rychle uniknout prudkým vystříknutím vody ze zadečku (Sedlák, 2003). Stejně jako tomu je i u dospělců, jsou i anisopterní larvy výrazně robustnější (Dolný et al., 2016). Některé druhy kladou vajíčka do vodních rostlin, avšak jiné kladou přímo do vody, a to buďto potopením zadečku pod vodní hladinu nebo odhozením vajíček na vodní plochu, tomuto bude více věnována další část (Lellák et al., 1982).

Také někteří zástupci řádu blanokřídlí (*Hymenoptera*) sestupují pod vodní hladinu pro kladení vajíček (Lellák et al., 1982). Tento řád patří do nadřádu novokřídlých, který má pokročilejší vkloubení křídel a jejich žilnatinu a delší a složitější tykadla. Blanokřídlí mají typickou žilnatinu s větším počtem políček. U některých druhů dochází k redukci křídel. Ústní ústrojí je kousací nebo lízavě sací (Sedlák, 2003), přičemž vodní blanokřídlí se živí paraziticky (Lellák et al., 1982).

Některé samičky kladou vajíčka přímo z vodní hladiny, jiné sestupují pod vodu po vodních rostlinách. Těla samiček jsou nesmočitelná tudíž jsou obalena tenkou vrstvou vzduchu, která jim umožňuje delší pobyt pod vodou (nepřetržitě až pět dní). Zástupci čeledi vejřitkovití (*Proctotrupidae*) jsou schopni ve vodě i plavat, a to za pomoci křídel, která jsou lemována dlouhými brvami. Pod vodu sestupují obě pohlaví a dochází v ní také k páření (Lellák et al., 1982). Velikost zástupců se pohybuje od 0,4 do 6,5 mm a jedná se o prazazitoidy larev hmyzu (převážně brouků, molic, síťokřídlých a dvoukřídlých) (Buchar et al., 1995). Chrostíkovec ozbrojený (*Agriotypus armatus*) z čeledi lumkovití (*Ichneumonidae*) na jaře usedá na kameny letních potoků a po nich sestupuje pod vodní hladinu (Lellák et al., 1982).

Někteří zástupci řádu chrostíci (*Trichoptera*) se mohou pohybovat po vodní hladině podobně jako ploštice. Samičky však občas sestupují při kladení vajíček do vody, k čemuž využívají vodní rostliny. Také jsou obaleny tenkou vrstvou vzduchu, avšak už se nevrací na souš a pod vodou umírají (Lellák et al., 1982). V České republice žije nad 40 druhů. Mezi běžné druhy patří *Hydropsyche angustipennis* nebo *Limnephilus griseus* (Buchar et al., 1995).

2.2.2 Fyzikální popis problému

Povrchové napětí je již vysvětleno v části 2.1.2. Vodní hadina se chová jako pevná pružná blána, což umožňuje některým živočichům využívat tento povrch k pohybu, avšak pro živočichy, kteří se potřebují dostat pod vodu, představuje tato blána překážku.

Připomeňme vztah pro povrchové napětí (2.1.1):

$$\sigma = \frac{F}{l},$$

kde σ je povrchové napětí kapaliny, F je povrchová síla a l délka okraje povrchové blány, na který síla působí. Z této rovnice lze odvodit vztah pro sílu, kterou povrchové napětí, respektive molekuly ležící v povrchové vrstvě kapaliny, působí. Stejnou sílu je poté nutno překonat pro sestoupení pod hladinu. Platí tedy:

$$F = \sigma \cdot l. \quad (2.2.1)$$

Síla je tedy přímo úměrná povrchovému napětí i délce okraje povrchové blány, z čehož vyplývá, že čím delší bude smočený okraj tělesa, na který síly působí, tím větší bude samotná síla (Bartuška a Svoboda, 2007).

2.2.3 Využití ve výuce

Otázkou je, proč musí druhy hmyzu kladoucí vajíčka do vody sestupovat pod hladinu po kamenech nebo rostlinách, případně namáčet pouze zadečky. Vždyť člověk nemá s potopením se pod vodu žádný problém. Žáci by sami měli přijít na to, že tomu tak je právě kvůli povrchovému napětí vody. Člověk sice nemá s potopením problém, ale drobný a lehký hmyz ano. Povrchové napětí lze demonstrovat na několika pokusech.

Jako první vezmeme kousek tvrdého papíru, který povoskujeme pomocí rozpuštěného vosku ze svíček. Je lepší toto udělat předem, především u mladších žáků, aby nemuseli manipulovat s ohněm případně horkým voskem a nedošlo ke zranění. Povoskování provádíme z toho důvodu, aby se papír nenamočil, lze tedy použít také ku příkladu zalaminovaný papír nebo plastovou kartičku (případně jakýkoli plochý voděodolný předmět). Je výhodné pamatovat na to, že čím větší objekt bude, tím snazší bude demonstrovat situaci žákům.

Položíme papír na vodní hladinu a zkusíme jej potopit, jak je zobrazeno na obr. 2.2.2. Poté papír otočíme a zkusíme jej potopit hranou, jak ukazuje obr. 2.2.3, vidíme, že druhý způsob je jednodušší. Je tomu tak právě proto, že čím delší je okraj povrchové blány, na který působí síla, tím větší je i daná síla.

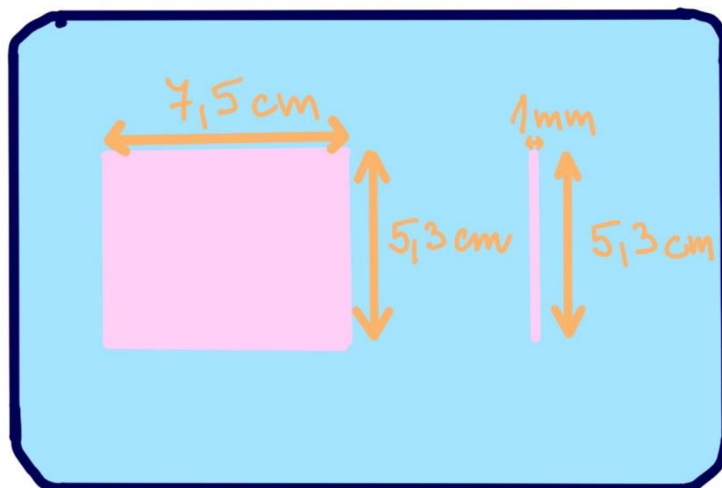


Obrázek 2.2.2 Ponoření papíru ležícího na vodní hladině. Autor fotografie: Kristýna Mihalová



Obrázek 2.2.3 Potopení papíru po hraně. Autor fotografie: Kristýna Mihalová

Na tento pokus se lze podívat také z teoretické stránky užitím vztahu (2.2.1). Je potřeba změřit délky stran papíru. V tomto případě jsou rozměry papíru $a = 7,5$ cm a $b = 5,3$ cm. Jeho obvod je tedy $o = 25,6$ cm. Měření rozměrů papíru v obou polohách je znázorněno na obr. 2.2.4. Připomeňme také hodnotu povrchového napětí vody $\sigma = 73$ mN \cdot m⁻¹.



Obrázek 2.2.4 Náčrt s ukázkou měření rozměrů papíru při různých polohách potápění.

Autor nákresu: Kristýna Mihalová

V první případě působí povrchová síla na celý obvod papíru, tedy

$$F = 73 \cdot 10^{-3} \cdot 25,6 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

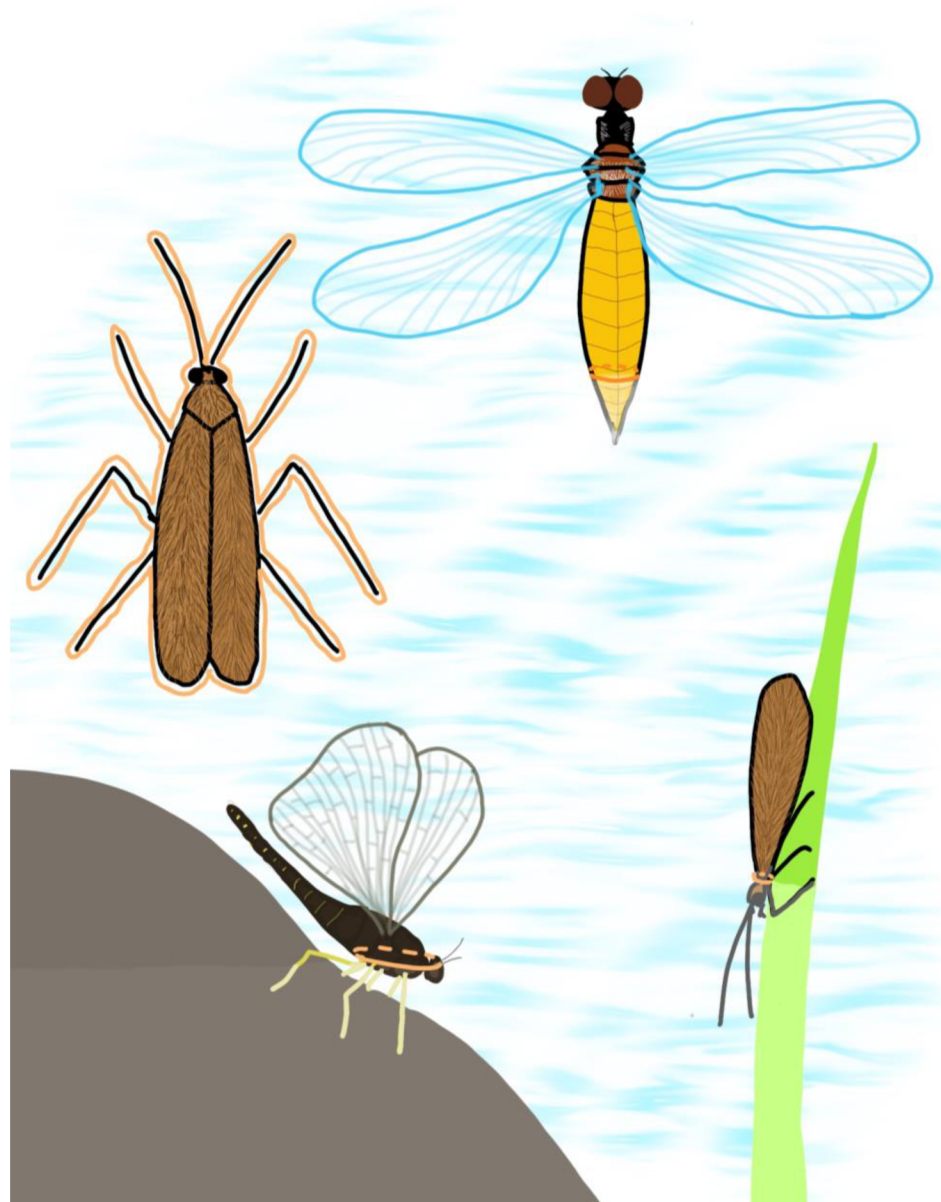
$$F = 18,7 \text{ mN}$$

V druhém případě působí povrchová síla na obě kratší strany papíru. Po povoskování je jeho tloušťka asi 1 mm. Délka povrchu kapaliny, který tedy působí na papír je $l = 10,8$ cm.

$$F = 73 \cdot 10^{-3} \cdot 10,8 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

$$F = 7,9 \text{ mN}$$

Vidíme tedy, že síla, kterou je nutno překonat, je v prvním případě více než dvojnásobná. Z tohoto důvodu je třeba, aby hmyz pod hladinu sestupoval postupně. Obvod jejich těla, který je v daném momentu v kontaktu s hladinou, musí být co nejmenší, jelikož tak jedinci potřebují v daném momentu překonávat co nejmenší sílu, což zobrazuje obr. 2.2.5, kde je oranžovou čarou znázorněn obvod části těla, na kterou v daný moment působí povrchová síla. Důvodem proč často sestupují po rostlinách nebo kamenech, je opora při lezení pod hladinu.



Obrázek 2.2.5 Náčrt chrostíka, kdyby se potápěl přímo z hladiny, vážky ponořující pouze zadeček, jepice slézající pod hladinu po kamenu a chrostíka slézajícího po rostlině. Autor nákresu: Kristýna Mihalová

Pro pokus, na kterém lze demonstrovat povrchové napětí a povrchovou sílu, vezmeme špejli, kterou šikmě ponoříme do kapaliny, jak je zobrazeno na obr. 2.2.6. V místě, kde špejle vystupuje z vody, si můžeme povšimnout, že vodní hladina není vodorovná, ale ohýbá se směrem ke špejli, to zobrazuje detailnější obr. 2.2.7. Je tomu tak, jelikož molekuly vody, které zůstávají na špejli spolu, do jisté vzdálenosti drží s molekulami vody v nádobě, jakmile je vzdálenost příliš velká, přitažlivá síla molekul již není dostatečná.



Obrázek 2.2.6 Ukázka ponoření špejle do vody. Autor fotografie: Kristýna Mihalová



Obrázek 2.2.7 Detail na špejli vynořující z vody. Autor fotografie: Kristýna Mihalová

2.3 Padající vajíčka – vážky a mechanická energie

Dospělé vážky jsou typickým létavým, suchozemským hmyzem, avšak jejich larvy žijí ve vodě. Samice tedy potřebují vyvinout strategie pro naklazení vajíček pod vodní hladinu. Některé druhy vážek mají vyvinuté kladélko, což je orgán ke kladení vajíček, u hmyzu má nejčastěji podobu úzké trubičky (McGavin, 2005), kterým kladou vajíčka pod epidermis vodních rostlin. Druhy se zakrnělým kladélkem kladou vajíčka volně do vody nebo na vlhkou půdu na březích vod. Velké množství druhů vajíčka klade během letu (Lellák et al., 1982).

2.3.1 Biologický popis problému

Samičky čeledí klínatkovití (*Gomphidae*) a vážkovití (*Libellulidae*), které nemají kladélko, poletují nad vodní hladinou nebo močálovitými břehy houpavým pohybem, během kterého ponořují konec zadečku pod vodu, do které vypouštějí vajíčka. Zajímavější je situace, kdy samičky těchto čeledí odhazují vajíčka ze vzduchu na vodní hladinu, a to z výšky až čtyř metrů (Lellák et al., 1982).

Vážky (*Odonata*) jsou řádem křídlatého hmyzu. Spolu s jepicemi (*Ephemeroptera*) patří do nadřádu starokřídílí (*Palaeoptera*). Jedná se o starou skupinu s primitivním vkloubením křídel. To má za následek, že zástupci nemohou mít v klidu křídla ploše nebo střechovitě složená na zadečku (Sedlák, 2003).

Dospělci vážek se živí dravě, ústní ústrojí je kousací. Vážky jsou typické svými velkými křídly se složitou a bohatou žilnatinou. Jejich zadeček je štíhlý a tvoří jej jedenáct článků. V devátém článku samečkům ústí vývody se spermatoforem (pouzdro se spermiemi sloužící k přenosu samčích pohlavních buněk do těla samičky (McGavin, 2005)), ten samečci před kopulací přenášejí do přídavných kopulačních orgánů na druhém a třetím článku zadečku. Z nich potom samice, kterou během kopulace samec drží za hlavu pomocí přívěšků na konci těla, nasává spermatofor svým dopředu ohnutým zadečkem (Sedlák, 2003).

Vajíčka jsou vzhledem k velikosti jedinců velmi malá. Vajíčka druhů kladoucích do vodních rostlin jsou podlouhlá a větší (asi 1,5-2 mm). Samičky produkují 200-400 vajíček. U druhů, které kladou volně, jsou vajíčka menší (asi 0,5 mm) a oválná. Samičky produkují více vajíček (okolo 1600), jelikož tento způsob kladení není tak bezpečný jako kladení do rostlin. Vajíčka jsou k tomu chráněna obaly – pevným

endochorionem a tenkým exochorionem, který navíc ve vodě nabobtná a dále chrání vajíčka před poškozením (Lellák et al., 1982).

Larvy se také živí dravě. Jejich spodní pysk je přeměněn v tzv. lapací masku. Ta je v klidu složena pod hlavou, avšak jedinci jsou schopni ji při lovení potravy prudce vymrštit dopředu a lapit tak kořist. Makadla jsou přeměněna v pár postranních přívěsků, které zachytávají kořist. Často bývají také na vnitřní straně vybaveny trny (Lellák et al., 1982).

Vážky se dělí do tří podřádů. Výše zmíněné čeledi patří do podřádu šídla (*Anisoptera*). Pro tento podřád je typický rozdílný tvar předního a zadního páru křídel, které mají v klidu v horizontální poloze (tedy kolmo k tělu). Larvy mají robustní vzrůst. Na rozdíl od druhého velkého podřádu (motýlice – *Zygoptera*) larvy nemají na zadečku přívěsky. Dýchají pouze vnitřními tracheálními žábami, ty také umožňují únikový pohyb prudkým vystříknutím vody (Sedlák, 2003).

Druhy patřící do čeledi klínatkovití jsou středně velké (okolo 4,4-5,5 cm) s rozpětím křídel asi 5,8-7,4 cm (Kolibáč et al., 2019). Jejich zbarvení je žluté až žlutozelené a na těle mají černé skvrny (Dolný et al., 2016). Oči jsou zbarvené v různých odstínech zelené. Zástupci se vyskytují po celém území České republiky v nížinách a pahorkatinách u čistých proudících řek s náplavami písku a šterkopísku. Larvy se vyvíjejí zahrabané v bahně až čtyři roky. Mezi zástupce žijící v České republice patří klínatka vidlitá (*Onychogomphus forcipatus*), klínatka rohatá (*Ophiogomphus cecilia*) nebo klínatka obecná (*Gomphus vulgatissimus*) (Kolibáč et al., 2019).

Príslušníci čeledi vážkovití jsou taktéž středně velké druhy (asi 2,7-5,2 cm) s rozpětím křídel okolo 4,4-8,3 cm. Barevně jsou druhy rozmanitější než u předchozí čeledi, samci jsou nejčastěji modří nebo červení samice poté hnědožluté až okrové. Mají vyvinutý výrazný pohlavní dimorfismus. Zástupci se vyskytují po celém území České republiky včetně horských oblastí nejčastěji u různých typů stojatých vod. Některé druhy lze nalézt také na rašeliništích, slatiništích nebo i u pomalu tekoucích vod. Vývoj larvy trvá jeden až dva roky. Mezi hojné druhy u nás patří vážka ploská (*Libellula depressa*), kterou lze vidět na obr. 2.3.1 a která plní roli jako tzv. pionýrského organismu, kdy jako první osidluje nově vzniklá místa, vážka čtyřskvrnná (*Libellula quadrimaculata*), vážka černořitná (*Orthetrum cancellatum*), vážka obecná (*Sympetrum*

vulgatum), vážka tmavá (*Sympetrum danae*), vážka rudá (*Sympetrum sanguineum*), vážka žlutavá (*Sympetrum flaveolum*) nebo vážka žíhaná (*Sympetrum striolatum*) (Kolibáč et al., 2019).



Obrázek 2.3.1 Samice vážky ploské kladoucí vajíčka ponořením zadečku pod hladinu.

Autor fotografie: Jan Ježek (<http://bohemiaorientalis.cz>)

2.3.2 Fyzikální popis problému

Mechanická energie je součtem potenciální a kinetické energie tělesa. Tyto energie se mohou vůči sobě libovolně měnit, avšak, jak říká zákon zachování energie, v izolované soustavě je celkový součet těchto energií konstantní. Energie v této soustavě tedy nevzniká ani nezaniká, pouze se mění její forma (Svoboda et al., 2013).

Kinetická (pohybová) energie E_k souvisí s pohybem tělesa. Čím rychleji se daný objekt pohybuje, tím větší je jeho kinetická energie. Naopak, je-li objekt v klidu, jeho kinetická energie je nulová, z toho lze usoudit, že energie závisí na rychlosti pohybu v , ale také na hmotnosti pohybujícího se tělesa m , a to konkrétně jako

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2. \quad (2.3.1)$$

Jednotkou všech typů energie je joule (J) (Halliday et al., 2019).

Potenciální (polohová) energie E_p závisí na poloze tělesa. Objekt má potenciální energii, zvedneme-li jej do určité výšky nad povrch země. Je tomu tak z toho důvodu, že abychom těleso do této polohy umístili, je potřeba překonat tíhovou sílu, která na těleso působí. Podobně dostane pružné těleso potenciální energii, pokud jej stlačíme nebo natáhneme (pro tuto změnu je opět potřeba překonat jistou sílu), tímto druhem potenciální energie se však dále zabývat nebudeme. První typ potenciální energie tedy závisí na výšce h , ve které se těleso nachází, na tíhovém zrychlení Země g a opět na hmotnosti tělesa m , tedy

$$E_p = m \cdot g \cdot h. \quad (2.3.2)$$

Lze tedy vidět, že čím výš je těleso umístěno, tím je i jeho energie vyšší (Svoboda et al., 2013).

Jak již bylo zmíněno, těleso může mít současně oba tyto typy energie a jejich součet, tedy celková mechanická energie E , se v uzavřené soustavě nemění, platí tedy

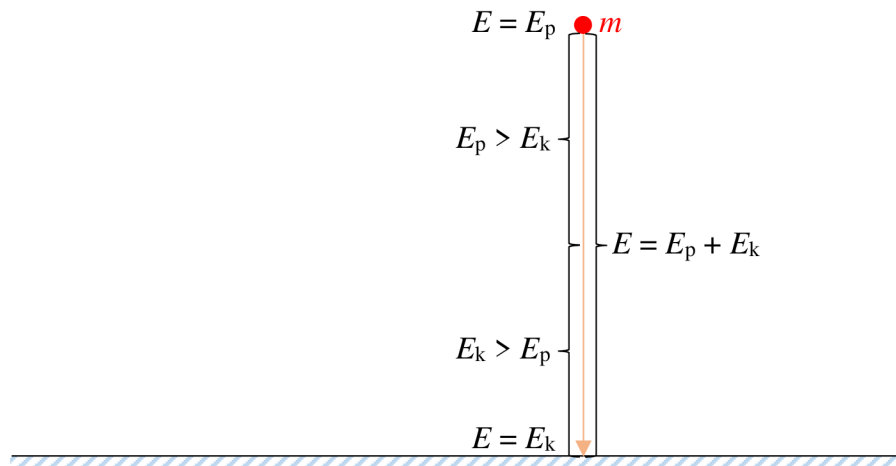
$$E = E_k + E_p = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h = \text{konst.} \quad (2.3.3)$$

Tento fakt je znám jako zákon zachování energie. Typickým příkladem, kdy se potenciální energie pozvolna mění v energii kinetickou je volný pád (Svoboda et al., 2013).

Během volného pádu koná těleso přímočarý, svislý a rovnoměrně zrychlený pohyb. Na jeho začátku je rychlost tělesa nulová. Zrychlení, s jakým objekt padá, se nazývá tíhové zrychlení g a jeho hodnota v naší zeměpisné šířce je $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Maximální rychlosti těleso dosáhne při dopadu na zem (nebo jiný povrch). Během pohybu na těleso působí také třecí síly, které však pro zjednodušení často zanedbáváme (Svoboda et al., 2013).

Podíváme-li se na pohyb volným pádem z hlediska energií, lze říci, že na počátku má těleso maximální potenciální energii, jelikož je v maximální výšce, a má nulovou kinetickou energii, protože počáteční rychlost je nulová. Tedy jeho celková mechanická energie je rovna energii potenciální. Postupně, se zvyšováním rychlosti a se zmenšováním se výšky nad povrchem, se potenciální energie mění na energii kinetickou. Při dopadu tělesa je jeho rychlost, a tedy i kinetická energie maximální, naopak výška nad povrchem je nulová a jeho potenciální energie je tedy také nulová.

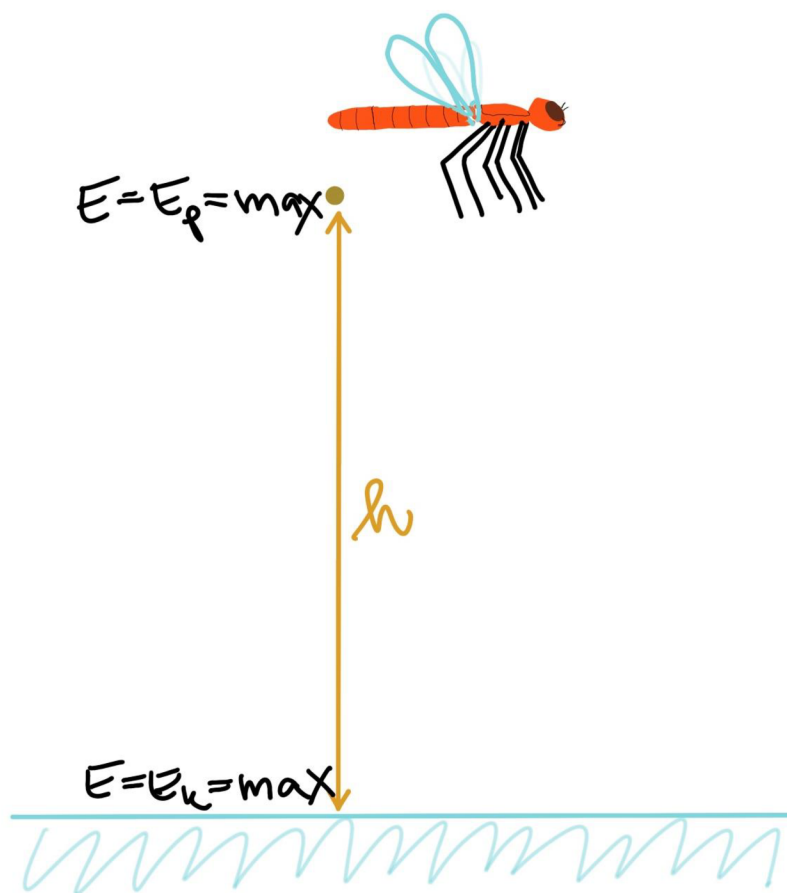
Celková energie tělesa je tedy v tento moment rovna pouze energii kinetické. Průběh volného pádu znázorňuje obr. 2.3.2 (Svoboda et al., 2013).



Obrázek 2.3.2 Mechanická energie při volném pádu (Vytvořeno podle (Svoboda et al., 2013), upraveno)

2.3.3 Využití ve výuce

Pokud vážka odhodí své vajíčko z výšky 4 metrů, lze pomocí vztahů pro energie (2.3.1 a 2.3.2) a zákona zachování energie (2.3.3) vypočítat jeho rychlost při dopadu. Jedná se o poměrně klasickou úlohu na zákon zachování energie, avšak navázanou na biologii vodních bezobratlých živočichů. Víme, že na začátku pohybu má těleso pouze potenciální energii a na konci pouze kinetickou, to znázorňuje náčrt k řešení příkladu na obr. 2.3.3. Zároveň celková energie zůstává zachována. Z toho důvodu musí být potenciální energie při začátku pádu rovna kinetické energii při dopadu.



Obrázek 2.3.3 Náčrt k řešení příkladu o vážkách kladoucích vajíčka a mechanické energii. Autor nákresu: Kristýna Mihalová

Lze tedy psát:

$$E_p = E_k$$

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2.$$

Jelikož hmotnost m figuruje na obou stranách rovnice, lze hmotností celou rovnici vydělit, tím dostaneme

$$g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot v^2.$$

Jelikož chceme vypočítat rychlost, vyvodíme

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

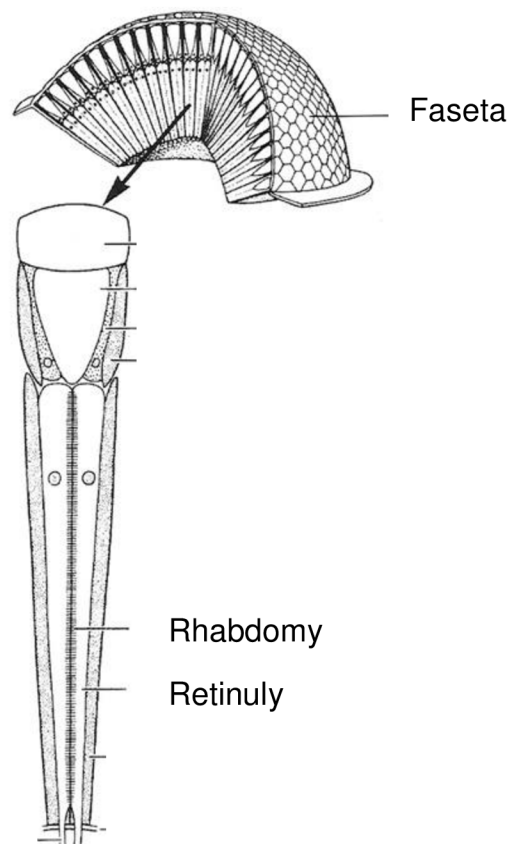
$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v = 8,86 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Víme tedy, že vajíčka mají v momentě dopadu na hladinu rychlost $9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, což musí být rychlost dostatečná k proražení hladiny, vajíčka se totiž potřebují dostat pod vodu, stejně jako kdyby je samičky nakladly ponořením zadečku pod vodní hladinu. Některé školy mají vybavení, pomocí kterého je možné podobné rychlosti dosáhnout a změřit ji, což žákům vytvoří lepší představu o daném pohybu.

2.4 Dvojité vidění – vírníci a lom světla

Oči vírníků jsou mezi hmyzem velmi unikátní. Mají dva páry fasetových očí, což jsou složené oči hmyzu skládající se z omatidií (jednotlivá malá očka, z nichž je každé zaměřené trochu jiným směrem). Celkový obraz živočich dostává složením obrazů získaných z jednotlivých omatidií (Jelínek a Zicháček, 2007). Oči vírníka jsou tedy jasně rozděleny na spodní pár směřující pod vodu a vrchní směřující nad hladinu. Díky tomu jsou vírníci schopni sledovat najednou dění nad i pod hladinou. Páry očí se navíc liší i svou stavbou. Oči spodního páru mají oproti vrchnímu páru delší rhabdomy (krystalické smyslové struktury v očích členovců (Meyer-Rochow (2014)) a retinuly (smyslové buňky, reagující na chemické látky vypuštěné vrstvou na povrchu zrakových buněk po vystavení světlu (Meyer-Rochow (2014))). Obě struktury lze vidět na řezu okem hmyzu na obr. 2.4.1. Díky tomuto prodloužení mají oči dolního páru větší světelnost, což podle Hallidaye et al. (2019) určuje jasnost obrazu a jedná se o důležitý parametr u pozorování objektů s malým jasnem (je to také význačná vlastnost u dalekohledů), která umožňuje lepší vidění pod vodou (Lellák et al., 1982).



Obrázek 2.4.1 Řez ommatidiem oka hmyzu (převzato z Meyer-Rochow (2014), upraveno)

2.4.1 Biologický popis problému

Vírníci patří do čeledi vírníkovití (*Gyrinidae*) z řádu brouci (*Coleoptera*). Jedná se o velmi homogenní čeleď vodních dravých brouků. Zástupci jsou rozšířeni po celém světě, přičemž v České republice bylo popsáno jedenáct druhů (Kolibáč et al., 2019).

Jak již bylo zmíněno, zástupci se živí nejčastěji dravě. Pojídají mrtvý hmyz nebo vysávají vodní živočichy, které jsou schopni ulovit (například larvy komárů nebo pakomárů). Kořist chytanou do předního, chápavého, páru končetin a vysají mandibulami, které mají trubičkovitou stavbu. Nevyskytují se pouze ve vodě, dospělci jsou velmi dobrými letci. Létají převážně ve večerních a nočních hodinách (Lellák et al., 1982). Na hladině detekují kořist pomocí tykadel, které leží na hladině a jsou schopna zaznamenávat otřesy způsobené pádem kořisti do vody (Buchar et al., 1995).

Stejně jako dospělci i larvy se živí dravě. Loví menší druhy živočichů nebo jejich larvy, které usmrcují pomocí toxinů, kterou do jejich těla vstříkují skrze trubicovité mandibuly. Kořist hledají pod kameny, v bahně, na dně nebo mezi rostlinami. Larvy jsou dlouhé a štíhlé, jejich nohy jsou krátké a nemají plovací brvy (Lellák et al., 1982).

Vrchní strana těla imag vírníků je hydrofobní, kdežto spodní strana je smočitelná, což jim pomáhá udržet se na částečně pod hladinou a částečně nad ní. Vírníci také mohou během plavání vykonat trhavý pohyb, kterým, pokud přesáhne rychlost $23 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1}$, mohou na hladině vytvořit drobné vlnky. Ty se při nárazu na pevný objekt vrátí zpátky a slouží jako echolokátor. Vírníci jsou také velmi dobří plavci, jejichž končetiny jsou schopny vykonat až šedesát pohybů za sekundu. Díky tomu mohou na krátkou vzdálenost plavat rychlostí až $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Ward, 1992).

V naší přírodě se vyskytuje jedenáct druhů vírníků, většina z nich je velmi vzácná (Hůrka, 2017), avšak vírník obecný (*Gyrinus substriatus*), který je zobrazen na obr. 2.4.2, je u nás hojně rozšířen (Buchar et al., 1995) a dorůstá délky 5 až 7 mm. Jeho tělo je černé, lesklé (Kolibáč et al., 2019), hladké a má člunkovitý tvar (Lellák et al., 1982). Tělo je tmavě kovově zbarveno (Hůrka, 2017), nohy mají žlutohnědou barvu (Kolibáč et al., 2019) a jsou diferenciované. Přední pár je štíhlý, dlouhý a chápavý, střední a zadní končetiny jsou výrazně zkrácené, rozšířené a uzpůsobené k plavání (tzv. plovací končetina), díky tomu jsou vírníci skvělými plavci. Hlava je vnořena do prothoraxu. Díky této stavbě těla klade tělo vírníků minimální odpor při pohybu pod

hladinou i na ní (Lellák et al., 1982). Křídla jsou kryta krovkami s drobnými tečkami v pravidelných řadách. Horizontální rozdělení očí probíhá přibližně v úrovni hrany krovek, i díky tomu je jeden pár ponořen a druhý zůstává nad hladinou. Název získal svým vířivým pohybem po hladině, který je pro něj typický. Zástupci žijí v hejnech v čistých stojatých, nebo mírně tekoucích vodách. Celé hejno se při vyrušení hbitě potápí pod hladinu (Kolibáč et al., 2019).

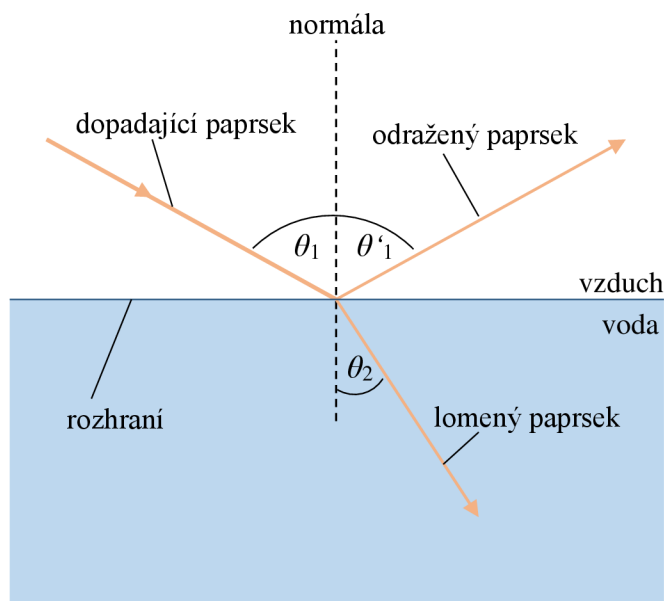


Obrázek 2.4.2 Várník tečkovaný plovoucí na hladině. Autor fotografie: Tamás Németh (<https://www.izeltlabuak.hu>)

2.4.2 Fyzikální popis problému

Pod vodou je náš zrak horší a může docházet ke zkreslování převážně velikostí nebo vzdáleností objektů. Důvodem, proč lidé vidí pod vodou zkresleně a proč várník potřebuje dva odlišné páry očí, je skutečnost, že vzduch i voda mají odlišné indexy lomu, což má za následek různou rychlost šíření světla v těchto prostředích.

Při dopadu světelného paprsku na rozhraní dvou prostředí (vodní hladina), se část paprsku odrazí zpět do původního prostředí a druhá část, která projde do druhého prostředí, se vlivem změny prostředí láme. Znamená to tedy, že paprsek nejde přímočaře, ale změní se úhel jeho chodu. Lom i odraz světelného paprsku na vodní hladině znázorňuje obr. 2.4.3 (Halliday et al., 2019).



Obrázek 2.4.3 Zobrazení chodu paprsku po dopadu na rozhraní vzduchu a vody (Vytvořeno podle Halliday et al. (2019)).

Z obr. 2.4.3 si lze povšimnout, že úhel dopadu θ_1 a úhel odrazu θ'_1 jsou stejně velké. Úhly paprsků se posuzují vzhledem k normále, což je kolmice k povrchu v místě dopadu paprsku. Často může docházet k chybě, kdy je úhel měřen vzhledem k rozhraní, je však potřeba počítat s úhlem, který je doplněním tohoto úhlu do 90° . Rovina, ve které leží dopadající paprsek a normála se nazývá rovinou dopadu. Úhel odrazu popisuje tzv. zákon odrazu, který říká, že odražený paprsek leží v rovině dopadu a úhel odrazu se rovná úhlu dopadu. Lze tedy psát:

$$\theta_1 = \theta'_1 \quad (2.4.1)$$

(Halliday et al., 2019).

Zajímavější je chod lomeného paprsku. Na obr. 2.4.3 lze vidět, že úhel lomu θ_2 je menší než úhel dopadu θ_1 . Lomený paprsek taktéž leží v rovině dopadu. Rozdílnost úhlů popisuje tzv. zákon lomu neboli Snellův zákon:

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2, \quad (2.4.2)$$

kde n_1 a n_2 jsou indexy lomu vzduchu a vody. Index lomu je charakteristikou daného prostředí, jeho hodnoty pro jednotlivé materiály lze najít v tabulkách. Index lomu souvisí s rychlostí šíření světla v daném prostředí a to následovně:

$$n = \frac{c}{v}, \quad (2.4.3)$$

kde c je rychlost světla ve vakuu ($3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) a v je rychlost světla v daném prostředí. Jelikož se světlo nejrychleji šíří ve vakuu, je index lomu vakua roven jedné. Index lomu vzduchu se také často zjednodušuje na tuto hodnotu (přesná hodnota při teplotě $0 \text{ }^\circ\text{C}$ a atmosférickém tlaku $n_1 = 1,00029$). Ze vztahu (2.2.3) lze odvodit, že index lomu jakéhokoli jiného materiálu je musí být $n > 1$. Toto samozřejmě platí i pro vodu, jejíž index lomu je při 20°C $n_2 = 1,33$) (Halliday et al., 2019).

Lom paprsku po průchodu vodní hladinou se označuje jako lom ke kolmici (normále). Ten nastává při průchodu paprsku z prostředí s nižším indexem lomu (tzv. opticky řidší prostředí – v tomto případě vzduch) do prostředí s vyšším indexem lomu (tzv. opticky hustší prostředí – v tomto případě voda). V praxi se projevuje tím, že úhel lomu je menší než úhel dopadu. Opakem je tzv. lom ke kolmici, který nastává při chodu paprsku z opticky hustšího prostředí do opticky řidšího prostředí (např. z vody do vzduchu) (Halliday et al., 2019).

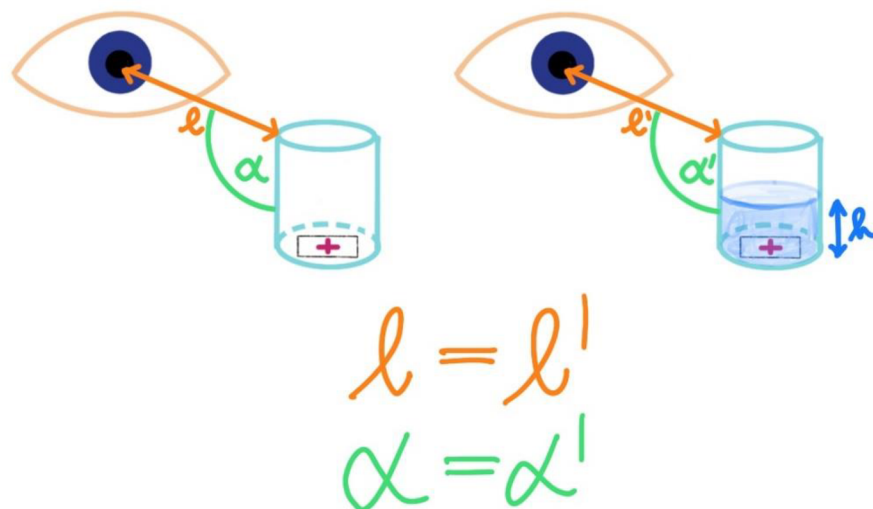
Jelikož se paprsek dopadem na rozhraní rozdělí, část se odrazí a část projde prostředím a dojde k lomu, budou i intenzita a energie rozděleny mezi tyto dva nové paprsky. Ze zákona zachování energie víme, že součet energií odraženého a lomeného paprsku musí být roven energii paprsku dopadajícího. Energie přímo souvisí s intenzitou, proto je intenzita paprsku ve vodním prostředí nižší než ve vzduchu (proto mají vírníkovy spodní oči vyšší světelnost). Vztahy pro výpočet intenzity jsou i pro střední školy poměrně složité a souvisí se směrem polarizace dopadajícího paprsku, z toho důvodu není potřeba se jimi podrobně zabývat. Polarizace souvisí s vlnovou povahou světla a jedná se vlastně o směr šíření vektoru intenzity elektrického pole, což je jedna ze dvou hlavních složek světla, jelikož světlo je elektromagnetické záření (Feynman et al., 2013).

2.4.3 Využití ve výuce

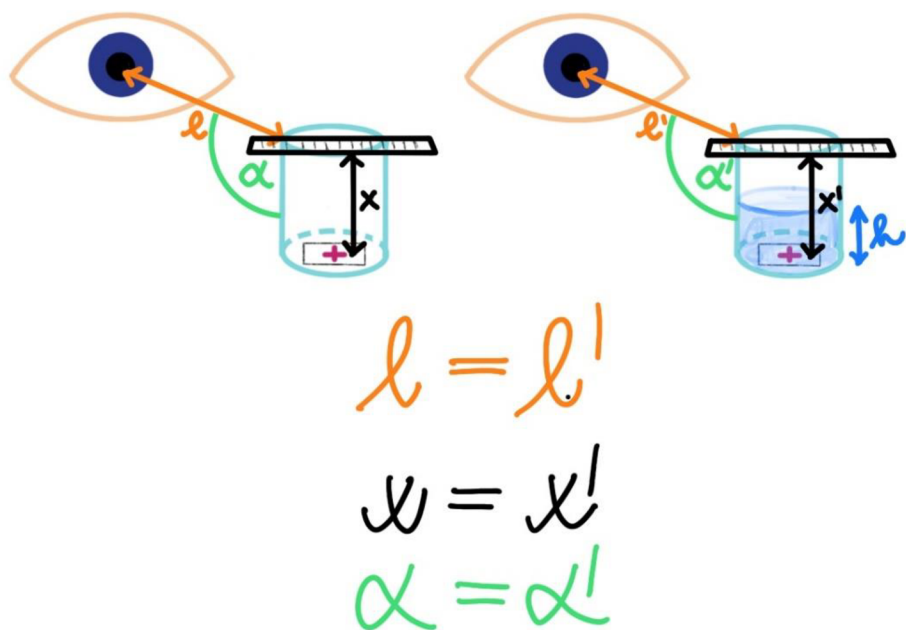
Během výuky připomeneme nebo vysvětlíme, že vírníci mají dva páry očí, které se liší svou stavbou. Jeden pár směřuje nad hladinu a druhý pod ní. Položíme otázku: Proč vírník potřebuje dva odlišné páry očí? Lidé jsou přeci schopni vidět věci nad i pod hladinou. Následně probereme učivo o lomu světla po teoretické stránce. Další část je vhodné rozdělit pro žáky základních a středních škol.

Pro demonstraci rozdílného úhlu lomu a dopadu pro žáky na základní škole stačí jednoduchý pokus (převzat z Randa et al. (2021b), upraveno a doplněno). Vezmeme

skleněnou nádobu a na její dno nalepíme papírek s vyznačeným křížem. Podíváme se pod takovým úhlem, aby se konec kříže dotýkal hrany sklenice, poté do sklenice nalijeme vodu a pozorujeme, jak se poloha kříže vůči hraně sklenice změnila. Je velmi důležité, aby při nalévání vody nedošlo ke změně úhlu pohledu, proto je lepší provádět pokus alespoň ve dvojicích. Dále můžeme vzít pravítko a změřit relativní velikost kříže na suchu i pod vodou, důležité je opět abychom měli hlavu i pravítko stále ve stejné vzdálenosti od kříže. Pravítko lze položit na okraj sklenice, hlavu však musíme držet na stejném místě sami – opět vhodnější realizace ve více lidech. Podíváme se také na to, jak se posunula relativní poloha středu kříže. Nyní je třeba udržet i pravítko ve stejné poloze při obou měřeních. Náčrt k realizaci experimentu zobrazují obr. 2.4.4 a 2.4.5 a výsledky zobrazují fotografie na obr. 2.4.6-2.4.11.



Obrázek 2.4.4 Náčrt k realizaci první části experimentu – úhel, pod kterým vidíme kříž na suchu a pod vodou. Autor nákresu: Kristýna Mihalová



Obrázek 2.4.5 Náčrt ke druhé a třetí část experimentu – měření relativní vzdálenosti kříže na suchu a pod vodou. Autor nákresu: Kristýna Mihalová



Obrázek 2.4.6 Pohled na polohu kříže na vzduchu. Autor fotografie: Kristýna Mihalová



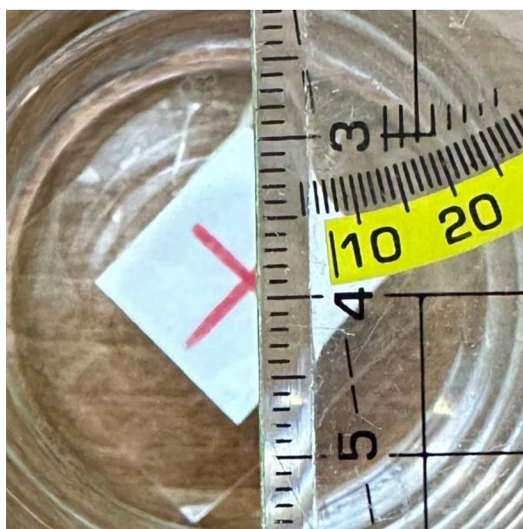
Obrázek 2.4.7 Pohled na polohu kříže po naplnění sklenice vodou. Autor fotografie: Kristýna Mihalová



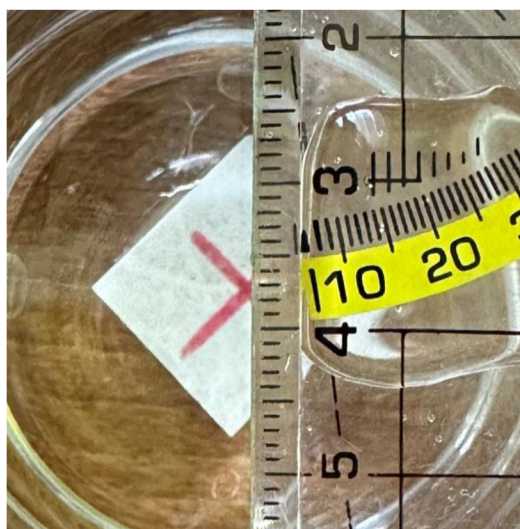
Obrázek 2.4.8 Relativní velikost kříže na vzduchu. Autor fotografie: Kristýna Mihalová



Obrázek 2.4.9 Relativní velikost kříže pod vodou. Autor fotografie: Kristýna Mihalová



Obrázek 2.4.10 Měření relativní polohy středu kříže na vzduchu. Autor fotografie: Kristýna Mihalová



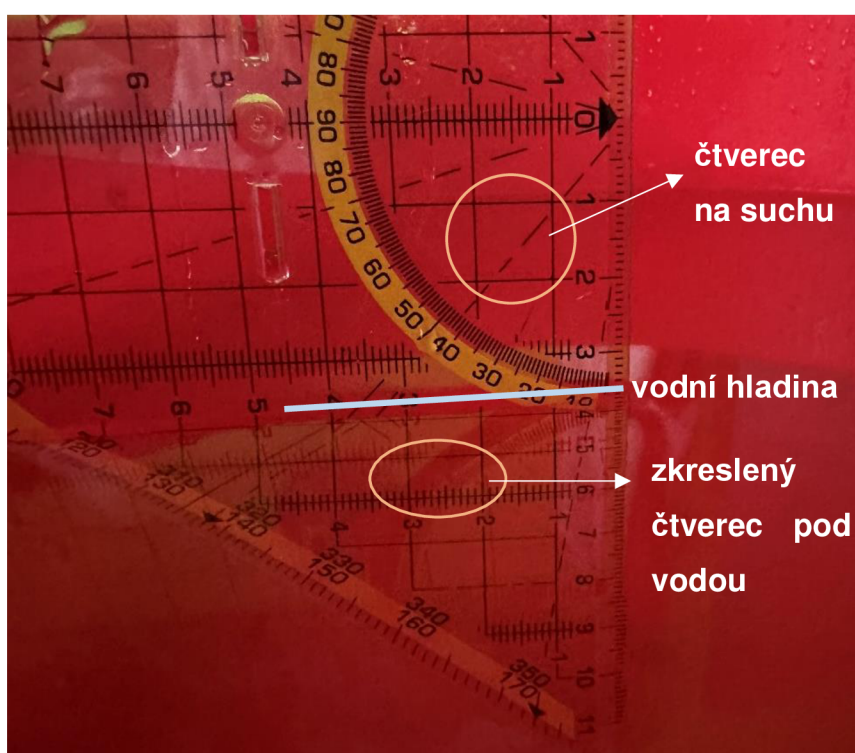
Obrázek 2.4.11 Měření relativní polohy středu kříže pod vodou. Autor fotografie: Kristýna Mihalová

Z fotografií (obr. 2.4.6 a 2.4.7) vidíme, že výsledkem první části experimentu je posun polohy kříže vůči našemu oku, což je důkaz toho, že světlo průchodem rozhraní dvou prostředí mění svůj směr a že úhel lomu a dopadu se liší.

Výsledek druhé části experimentu (obr. 2.4.8 a 2.4.9) je mírně zkreslen, jelikož fotoaparát nebyl schopen zaostřit blízké pravítka i vzdálenější kříž na dně sklenice, což při pozorování okem nehrozí. Pro interpretaci výsledků jsou však dostatečné i tyto nezaostřené fotografie. Lze vidět, že relativní velikost kříže na suchu je přibližně 0,5 cm, zatímco pod vodou je velikost jednoznačně větší (asi 0,6 cm).

Z poslední dvojice fotografií (obr. 2.4.10 a 2.4.11) vidíme, že poloha kříže se posunula z přibližně 4,1 cm na 4,3 cm a to pouze při hloubce 5 cm. Uvážíme-li velikost vírníka (5-7 mm), pak, za předpokladu, že loví kořisti menší než je on sám, by tento rozdíl, který se hloubkou zvětšuje, byl klíčový pro (ne)ulovení kořisti.

Zkreslení velikosti je pozorovatelné (a i žákům na základních školách dobře známé) například i při pohybu v bazénu. Pokud se podíváme v bazénu na své končetiny pod vodou, vidíme, že se jeví nápadně kratší než na suchu. Toto lze demonstrovat jednoduchým pokusem, kdy ponoříme pravítko pod vodu a pozorujeme rozdíly ve stupnici na suchu a pod vodou. Provedení tohoto experimentu je zobrazeno na obr. 2.4.12.



Obrázek 2.4.12 Ukázka zkreslení vzdálenosti po ponoření do vody. Autor fotografie:

Kristýna Mihalová

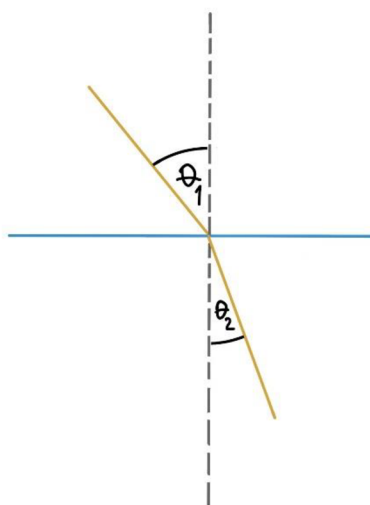
Z fotografie (obr. 2.4.12) je patrné, že vzdálenost se pod vodou jeví menší. Na námi použitém pravítku lze toto zkreslení vidět nejlépe na čtverečkách, které jsou na pravítku znázorněny. Vidíme, že na suchu jsou čtverečky jasně rozeznatelné, avšak po průchodu hladinou se jeví spíše jako obdélníky. Vidíme, že dochází ke zkrácení jedné ze stran. Fakt, že kříž se jevil větší, zatímco tady dochází ke zkrácení, je dán tím, že zde pozorujeme kolmo ponořený předmět, zatímco pozorovaný kříž byl umístěn na dně.

Pro žáky středních škol je vhodnější použít spíše teoretické úkoly. Zadáme jednoduchý příklad:

Pod jakým úhlem se bude lámat paprsek, který dopadá ze vzduchu na vodní hladinu pod úhlem 40° ? Jakou rychlostí se bude lomený paprsek šířit?

Pro řešení využijeme vztahy (2.4.2) a (2.4.3). K řešení příkladu napomůže náčrt na obr. 2.4.13

$\theta_1 = 40^\circ$	$\theta_2 = ?$	$n_1 = 1$	$n_2 = 1,33$	$v_2 = ?$	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
-----------------------	----------------	-----------	--------------	-----------	--



Obrázek 2.4.13 Náčrt k řešení příkladu na lom světla. Autor náčrtu: Kristýna Mihalová

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$$

$$\sin \theta_2 = \frac{n_1 \cdot \sin \theta_1}{n_2}$$

$$\sin \theta_2 = \frac{1 \cdot \sin 40}{1,33}$$

$$\sin \theta_2 = 0,483 \rightarrow \theta_2 = 28,9^\circ$$

$$n_2 = \frac{c}{v_2}$$

$$v_2 = \frac{c}{n_2}$$

$$v_2 = \frac{3 \cdot 10^8}{1,33} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_2 = 2,26 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Odpovědí na otázku položenou na začátku hodiny je tedy fakt, že světlo se šíří jinak na vzduchu a ve vodě. Lidské oko je sice schopno nahlédnout pod hladinu, avšak obraz je značně zkreslený. Aby obraz i pod vodou odpovídal skutečnosti, musí se stavba oka, které je ponořené, lišit od toho, které je na suchu. Vírník se pohybuje po hladině, ale svou potravu často loví pod vodou, kde se také skrývá před nebezpečím, proto je pro něj výhodné vidět dění nad i pod hladinou, kdyby však byl jeho zrak v jednom z prostředí zkreslen, byl by v konkurenční nevýhodě.

Lze najít také propojení s technickými obory, jelikož horní a spodní část očí vírníků se neliší pouze délkou rhabdomů a retinulů, ale také povrchem rohovky, která je u podvodního páru hladká, zatímco u horního páru je mírně zvrásněná nanostrukturami připomínajícími labyrint, což ji dodává antireflexní vlastnosti. Pro tyto poznatky lze v budoucnu nalézt technické využití (Blagodatski et al., 2014).

2.5 Vzduch pod vodou – vodouch a dýchání

V předchozích částech bylo zmíněno, že někteří suchozemští živočichové potřebují během života sestoupit pod vodu. Jiní živočichové tráví většinu života pod vodou, avšak potřebují dýchat vzdušný kyslík, potřebují tak způsob, jak dostat kyslík pod hladinu, aby jej zde mohli využívat.

Plži patřící do čeledi okružákovití (*Planorbidae*), kteří mají v plášťové dutině vzduchovou bublinu, do níž kyslík doplňují zejména pomocí difuze z vody. Oproti nim zástupci čeledi plovatkovití (*Limnaeidae*) pro doplňování kyslíku vystupují k hladině. Typickým příkladem vodního bezobratlého, který je znám již žákům na základní škole, je zástupce řádu pavouci (*Araneae*) vodouch stříbřitý (*Argyroneta aquatica*). Část jeho těla je obalena vrstvou vzduchu, kterou musí doplňovat právě výstupem nad hladinu. Unikátní jsou také zvony, které pod vodou staví, které jsou rovněž naplněny vzduchem. Také některé čeledi podřádu ploštice (*Heteroptera*) žijí výlučně pod vodou, jsou to například klešťankovití (*Corixidae*), což jsou jediné ploštice vystupující nad hladinu pro kyslík hlavou napřed. Zadečkem proráží vodní hladinu zástupci čeledí bodulovití (*Naucoridae*) nebo znakoplavkovití (*Notonectidae*). Pod krovkami uchovává svou rezervu vzduchu brouk (*Coleoptera*) čeledi potápníkovití (*Dytiscidae*) potápník vroubený (*Dytiscus marginalis*), naopak u čeledi vodomilovití (*Hydrophilidae*) je vzduch uložen na spodní straně těla. V předchozích částech zmínění zástupci řádů blanokřídlí (*Hymenoptera*) a chrostíci (*Trichoptera*) sestupují pod vodní hladinu obaleni vrstvou vzduchu, která jim umožňuje ve vodě dýchat (Lellák et al., 1982).

2.5.1 Biologický popis problému

Pavouci patří do třídy pavoukovci (*Arachnida*) patřící do podkmenu klepítkatci (*Chelicerata*). Zástupci mají tělo členěné na hlavohrud' (cephalothorax) a zadeček (abdomen). Z hlavohrudi vystupuje šest párů končetin – chelicery (kusadla), pedipalpy (makadla) a osm kráčivých končetin (Sedlák, 2003).

Chelicery pavouků jsou opatřeny jedovou žlázou. Makadla samců jsou upravena v rozmnožovací orgány. Pavouci dýchají pomocí plicních vaků, které jsou umístěny v zadečku, zde se nachází také snovací bradavky, na nichž ústí snovací žlázy. Z nich pavouci vypouští pavučinová vlákna (Sedlák, 2003).

Vodouch stříbřitý je jediným pavoukem žijícím ve vodním prostředí (Lellák et al., 1982). Jedná se o jednoho ze dvou v České republice žijících zástupců čeledi stínomilovití (*Cybaeidae*) (Kolibáč et al., 2019). Většina těla vodoucha je pod vodou obalena vrstvou vzduchu, což způsobuje charakteristické stříbřité zbarvení. Vzduch zde drží hustými, zpeřenými chloupky. Vzduch v bublině jedinci vyměňují průměrně jednou až dvakrát denně (avšak v dobře okysličené vodě až jednou za čtyři dny), a to proražením vodní blány koncem těla, který vysunou na vzduch. Při opětovném potopení se mezi chloupky zachytí vzduch a vytvoří se tak vzduchová bublina. Plyny v bublině jsou však v menším množství obměňovány neustále difuzí z okolní vody (Lellák et al., 1982).

Jedinci pod vodou staví z pavučinových sítí velké zvony naplněné vzduchem, který poté mohou dýchat bez toho, aniž by museli vystupovat ke hladině. Vzduch do zvonu přenáší na zadečku, ze kterého se uvolní vzduchová bublina spolu s novým vláknem pavučiny. Zvony bývají otevřené směrem dolů, stavba zvonu velkého asi 2 cm trvá okolo hodiny a při jeho stavbě musí jedinci pro vzduch k hladině vystoupit v průměru desetkrát (až padesátkrát) (Lellák et al., 1982). Zvon je zobrazen na obr. 2.5.1. Objem zvonu se pohybuje mezi 0,1-0,6 ml, avšak do nejmenších zvonů jsou jedinci schopni umístit pouze zadeček, aby zajistili výměnu plynů v bublině na těle. Velikost závisí na rozměrech samičky, případně na koncentraci kyslíku ve vodě (při vyšší koncentraci jsou i zvony větší) (Seymour a Hetz, 2011).



Obrázek 2.5.1 Vodouch stříbřitý s podvodním pavučinovým zvonem. Autor fotografie: Jan Dolanský (<https://pardubice.rozhlas.cz>)

Vodouch se živí vodními živočichy a zejména beruškami (*Asellus aquaticus*), které loví ve vodě na rostlinách nebo na dně, ale požírá je na vzduchu ve zvonu. Jedinci vyloučí na kořist trávící šťávy a poté ji takto natrávenou nasávají – mají tedy částečně mimotělní trávení. Ve zvonu tráví tyto pavouci většinu svého života rozmnožují se v něm (Lellák et al., 1982), kladou zde vajíčka a pečují o mláďata. Ve zvonech vytvořených ku příkladu prázdných ulitách mlžů také zimují (Kůrka et al., 2015).

Vzhledem k tomu, že zvony bývají umístěny těsně pod hladinou, je vzduch v nich vyměňován tak, že jedinec v něm vyleze dostatečně vysoko, aby mohl hlavohrudí prorazit vodní hladinu a spojit tak svým tělem vzduch ve zvonu a nad hladinou. Tlak okolní vody vytlačí vzduch ze zvonu ven a nový vzduch je do zvonu později přinesen stejně, jako při jeho stavbě (Lellák, et al., 1982).

Mezi pavouky je ojedinělý pohlavní dimorfismus, kdy je sameček větší než samičky, jako tomu je u vodoucha. Samečci, kteří jsou žlutavě zbarvení, dorůstají velikosti 10-15 mm oproti tomu černohnědé samičky 8-9 mm. Jedinci také dýchají vzdušnicemi, jelikož vzdušné vaky jsou silně redukovány (Kůrka et al., 2015).

2.5.2 Fyzikální popis problému

Částice jedné látky samovolně pronikají mezi částice jiné látky, tento jev se nazývá difuze, která je způsobena tepelným pohybem, jenž částice vykonávají neustále. Pohyb je neuspořádaný a všechny jeho směry jsou stejně pravděpodobné. Při vyšší teplotě se částice pohybují rychleji. Jedním z prvních důkazů pohybu částic je Brownův pohyb, objevený botanikem R. Brownem, který v 19. století pozoroval neuspořádaný pohyb pylových zrn ve vodě (Bartuška a Svoboda, 2007).

Speciálním případem difuze je osmóza, která probíhá pouze jedním směrem. Základním principem je snaha o vyrovnání koncentrací, látka tedy proniká z prostředí o vyšší koncentraci do prostředí s koncentrací nižší (Jelínek a Zicháček, 2007).

Důležitou vlastností látek je hustota ρ , která je dána hmotností m a objemem V vztahem:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.5.1)$$

a její jednotkou je $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Hustota vody při $20\text{ }^\circ\text{C}$ je $998\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a vzduchu za stejných podmínek $1,21\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, avšak u plynů se hustota velmi mění v závislosti na tlaku, jelikož jsou dobře stlačitelné (Halliday et al., 2019)

S hustotou kapalin souvisí také jejich tlak p , který lze vypočítat dle vztahu

$$p = h \cdot \rho \cdot g, \quad (2.5.2)$$

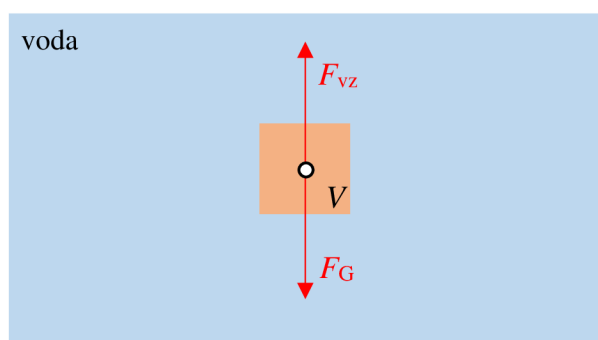
kde h je hloubka a g tíhové zrychlení. Jednotkou tlaku je pascal (P). Z rovnice (2.5.2) vyplývá, že tlak roste s hloubkou. Ponoříme-li těleso do kapaliny, je podle Archimedova zákona nadnášeno silou kapaliny, jenž je stejně velká jako tíha kapaliny o stejném objemu, jaký má ponořená část tělesa. Tato síla F_{vz} je rovna:

$$F_{vz} = V \cdot \rho \cdot g, \quad (2.5.3)$$

kde V je objem ponořené části tělesa. Pokud je těleso ponořeno do kapaliny a má větší hustotu než kapalina bude klesat ke dnu, tělesa se stejnou hustotou se vznáší volně v kapalině a tělesa s menší hustotou plavou na hladině. Při ponoření tělesa na něj vzájemně působí vztlaková síla F_{vz} a tíhová síla F_G , která je rovna:

$$F_G = V \cdot \rho_t \cdot g, \quad (2.5.4)$$

kde ρ_t je hustota tělesa (na rozdíl od předchozích vztahů, kde figuruje hustota kapaliny). Působení obou sil na těleso zobrazuje obr. 2.5.2 (Svoboda et al., 2013).



Obrázek 2.5.2 Síly působící na těleso v kapalině (Vytvořeno podle (Svoboda et al., 2013), upraveno)

2.5.3 Využití ve výuce

Demonstrací difuze ve výuce je několik. Lze vzít voňavku a stříknout ji na jedno místo ve třídě. Vlivem difuze se vůně rozšíří po celé místnosti bez toho, aniž bychom se částice snažili nějak přesunout sami. Pro vizuální ukázkou lze vzít sáček čaje a ponořit jej do vody, aniž bychom s kapalinou jakkoli manipulovali, částice čaje se pozvolna začnou uvolňovat do kapaliny, jak zobrazují obr. 2.5.3 a 2.5.4.

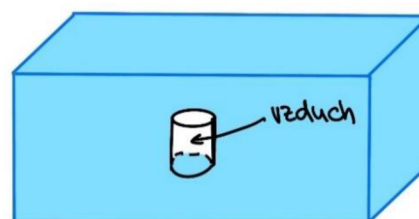
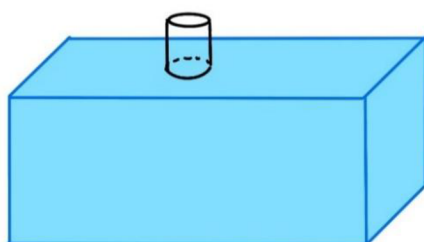


Obrázek 2.5.3 Čaj ihned po ponoření do kapaliny. Autor fotografie: Kristýna Mihalová



Obrázek 2.5.4 Samovolné pronikání částic čaje do vody. Autor fotografie: Kristýna Mihalová

Vzduchové bubliny pod vodní hladinou lze demonstrovat několika způsoby. Vezmeme průhlednou nádobu, kterou přiložíme rovně na vodní hladinu dnem vzhůru, jak zobrazuje obr. 2.5.5, nádobu potopíme, avšak vzduch v ní zůstává i pod vodou. Přítomnost vzduchu lze dokázat pohledem, nebo také nakloněním nádoby, což způsobí uvolnění vzduchu. Jelikož je hustota vzduchu menší než hustota vody, vzduch okamžitě vybublá na hladině. I v nádobě drží vzduch vlivem jeho nižší hustoty. Kdyby byla jeho hustota v porovnání s kapalinou větší, klesal by ke dnu, jelikož by ale měl stoupat ke hladině, je „uvězněn“ v nádobě.“



Obrázek 2.5.5 Náčrt k ponořování nádoby do kapaliny. Autor nákresu: Kristýna Mihalová

Zvony vodoucha lze simulovat pomocí sáčku, který potopíme pod vodu. Pomocí nádoby (obdobně jako v minulém experimentu) lze do něj dopravit vzduch. Sáček se načeň nafukovat, což zobrazuje obr. 2.5.6. Sáček poté i se vzduchovou bublinou podržíme pod vodou (obr. 2.5.7), u hladiny do něj uděláme díru (obr. 2.5.8), tlak okolní vody způsobí vymáčknutí vzduchu ze sáčku (obr. 2.5.9).



Obrázek 2.5.6 Sáček se vzduchem pod vodou. Autor fotografie: Kristýna Mihalová



Obrázek 2.5.7 Sáček zatlačený pod hladinu. Autor fotografie: Kristýna Mihalová



Obrázek 2.5.8 Propíchnutí sáčku u hladiny. Autor fotografie: Kristýna Mihalová



Obrázek 2.5.9 Sáček po probodnutí. Autor fotografie: Kristýna Mihalová

Při potápění sáčku lze demonstrovat také Archimédův zákon, podle kterého, jak vidíme ze vztahu (2.5.3), síla roste s objemem ponořené části tělesa. Tedy čím více je nafouknutý sáček ponořován, tím větší sílu je potřeba překonat.

3 Diskuze

Ve vyučovacích hodinách, během projektových dní nebo při terénních exkurzích je možné využít různá průřezová témata, díky kterým si žáci rozšíří pohled na svět a naučí se nahlížet na věci z více úhlů. Jednou z možností je propojit biologii vodních bezobratlých živočichů s fyzikou. Demonstrace jevů souvisejících s konkrétním živočichem navíc napomůže nejen k vytvoření komplexního názoru, ale také k hlubšímu zapamatování si obou souvisejících témat.

Ne vždy má škola dostatečné vybavení, aby mohl pedagog ve vyučování předvést žákům vše tak, jak by chtěl, avšak experimenty, navržené v této práci jsou velmi snadno realizovatelné věci k nim potřebné lze nalézt i doma.

První téma – chůze po vodě je využitelné pro žáky základních i středních škol. Bruslařka (a další ploštice) je vyučována již na druhém stupni, stejně jako povrchové napětí. Výpočty jsou vhodné spíše pro žáky středních škol, jelikož vztah (2.1.1) pro povrchové napětí se na základních školách neuvádí³. Jelikož se však nejedná o příliš komplikovaný výpočet, lze ve zjednodušené formě použít příklad i na základní škole. Povrchové napětí je zmíněno v učebnici pro sedmou třídu a žáci v tomto ročníku často neumí vyjadřovat z rovnic, proto je potřeba poskytnout již odvozené vztahy.

V porovnání s experimentálně zjištěnými hodnotami (necelých 13 mg) je výsledek výpočtu (0,2 mg) hmotnosti bruslařky odlišný, což je důsledek odhadování a velkého zaokrouhlování.

Druhé téma – sestup pod hladinu úzce souvisí s prvním tématem. Jeho využití ve výuce je tedy velmi obdobné. Již žáci na základní škole se dozvídají, že larvy ku příkladu vážek žijí ve vodě, avšak dospělci jsou suchozemským hmyzem. Málodky si však uvědomí, že samičky potřebují naklást vajíčka přímo do vody a vodní hladina může pro drobný hmyz představovat skutečnou překážku.

Opět je vhodné uvést žáky do problematiky a poté vysvětlit, jakými způsoby tedy lze povrchovou blánu překonat. Za ukázkový příklad je zde možné zvolit chrostíka, jelikož se umí pohybovat po vodní hladině obdobně jako ploštice, avšak vajíčka klade

³ Obsah učebnic se může lišit, vztah však není zmíněn v učebnici, která je pro tuto práci použita jako referenční (Randa et al., 2021b).

do vody, a musí tedy být schopen sestoupit pod hladinu, případně jepici, jelikož různé druhy jepic využívají různých strategií pro kladení vajíček pod hladinu.

Třetí téma – padající vajíčka je pouze teoretické, jelikož podmínky ve školní třídě nedovolují praktickou ukázkou. Vztahy využití v této kapitole jsou známy již na základní škole, lze tedy tento příklad zařadit do výuky na obou stupních. Jedná se o klasický příklad na mechanickou energii, avšak přizpůsobený tématu biologie vodních bezobratlých živočichů. Právě toto téma lze využít během exkurzí, kde by žáci viděli vážky odhazující vajíčka na vodní hladinu. Doba výskytu dospělců se liší v závislosti na druhu, avšak zástupce zmíněných čeledí lze v přírodě pozorovat od května do října (Rietschel, 2015).

Čtvrté téma – dvojí vidění je velice zajímavým fenoménem ve světě hmyzu. Vírník je uváděn již v učebnicích pro základní školy. Stejně tak lom světla průchodem do jiného prostředí je probírán již na základní škole. Nastává zde však problém, jelikož brouci jsou učivem šesté třídy, zatímco lom světla sedmé. Lze tedy v přírodopise zmínit, že vírník má dva různé páry očí a tuto informaci znovu připomenout následující rok ve fyzice, kde již bude vysvětleno, proč tomu tak je.

Goniometrické funkce, které jsou využity ve vztazích v této části, jsou tradičně probírány až v devátém ročníku. Početní příklad je možno využít až pro žáky středních škol. Naopak praktické pokusy jsou vhodnější pro žáky druhého stupně, zde se nabízí, aby si žáci sami pokusy vyzkoušeli. Naopak na střední škole není nutné, aby žáci pokusy prováděli, učitel však může dané skutečnosti prezentovat například pomocí fotografií.

Páté téma – vzduch pod vodou je opět proveditelné na základní i střední škole. Fyzikální pozadí, jako je tlak v kapalině nebo difuze, se probírají až v sedmé třídě, avšak pavouci jsou učivem šesté třídy. Pokus však je možné předvést již v hodině přírodopisu, žáci si tak lépe zapamatují podvodní zvony vodoucha. Je však vhodné poté ve fyzice tento fakt připomenout. Pokus lze předvést také na střední škole ve výuce biologie, opět pro lepší zapamatování a pochopení.

Témata propojující biologii vodních bezobratlých živočichů a fyziku nejsou touto prací rozhodně vyčerpána. Lze si vymezit jiné aspekty než pouze vodní hladinu, avšak i kdybychom zůstali u tohoto omezení, je možno se zaměřit kupříkladu na plže, kteří umí lézt po spodní straně vodní hladiny a také k ní upevňují hlenové provazce, na

brouky, kteří na hladině zakotvují své kokony nebo larvy, na znakoplavky, které vzduch pod vodou nevyužívají pouze k dýchání, ale jsou díky němu překompenzovány, což má za následek jejich neustálé nadnášení směrem k vodní hladině, nebo také na situaci opačnou ke kapitole 2.2, tedy líhnutí imag z vodní hladiny.

Závěr

V této práci jsem zpracovala literární rešerši týkající se mezipředmětových vztahů, jejich role ve výuce, ale také problémů s nimi spojených. Zaměřila jsem se na témata propojující fyziku a biologii na vybraných základních a středních školách. Uvedla jsem několik jevů propojujících fyziku, vodní hladinu a bezobratlé živočichy. Ke každému tématu jsem vybrala modelové organismy, na jejichž životních aktivitách lze daný jev pozorovat a vysvětlit jeho fyzikální podstatu. Vybrané druhy jsou navíc známé již žákům na základních školách a většina z nich je v naší přírodě zcela běžných. U každého jevu jsem navrhla teoretické nebo praktické úkoly, které danou situaci přibližují. Také jsem zhodnotila, které úkoly jsou vhodné pro daný stupeň vzdělání.

Zdroje

Literatura

- Batorczak A., Jabłoński P., Rowiński A. (1994): Mate choice by male water striders (*Gerris Lacustris*): expression of a wing morph preference depends on a size difference between females. *Behavioral Ecology*, Volume 5, Issue 1, Spring 1994: 17-20. [online]. Dostupné z: <https://academic.oup.com/beheco/article-abstract/5/1/17/322503?redirectedFrom=fulltext>
- Bartuška K., Svoboda E. (2007): *Fyzika pro gymnázia – Molekulová fyzika a termodynamika*. Prometheus, Praha, 244 pp.
- Bílek M., Rychtera J., Slabý A. (2008): *Integrovaná výuka přírodovědných předmětů*. Univerzita Palackého, Olomouc, 48 pp. [online]. Dostupné z: <http://esfmoduly.upol.cz/publikace/bilek2.pdf>
- Blagodatski A., Kryuchkov M., Sergeev A., Klimov A. A., Shcherbakov M. R., Enin G. A., Katanaev V. L. (2014): Under- and over-water halves of Gyrinidae beetle eyes harbor different corneal nanocoatings providing adaptation to the water and air environments. *Scientific Reports*, 4: 1-6. [online]. Dostupné z: <file:///C:/Users/mihal/Downloads/srep06004.pdf>
- Buchar J., Ducháč V., Hůrka K., Lellák J. (1995): *Klíč k určování bezobratlých*. Scientia, Praha, 285 pp.
- Čábalová D. (2012): *Pedagogika pro učitele základních a středních škol*. ZČU, Plzeň, 266 pp.
- Dolný A., Harabiš F., Bárta D. (2016): *Vážky (Insecta: Odonata) České republiky*. Academia, Praha, 342 pp.
- Feynman R. P., Leighton R. B., Sands, M. (2013): *Feynmanovy přednášky z fyziky 1. díl*. Fragment, Praha, 732 pp.
- Halliday D., Resnick R., Walker J. (2019): *Fyzika. Vysoké učení technické, nakladatelství VUTIUM*, Brno, 1248 pp.

- Holubová R. (2012a): Didaktika fyziky. Univerzita Palackého, Olomouc, 93 pp.
- Holubová R. (2012b): Molekulová fyzika a termodynamika. Univerzita Palackého, Olomouc, 144 pp.
- Holubová R. (2019): Využití mezipředmětových vztahů k motivaci žáka. Matematika – fyzika – informatika, 28 (1) 2019: 45-55. [online]. Dostupné z: https://mfi.upol.cz/files/28/2801/mfi_2801_045_055.pdf
- Hu D. L., Chan B., Bush J. W. M. (2003): The hydrodynamice of water strider locomotion. Nature, 424: 663-666. [online]. Dostupné z: <https://thales.mit.edu/bush/wp-content/uploads/2012/11/nature03.pdf>
- Hůrka K. (2017): Brouci České a Slovenské republiky. Kabourek, Zlín, 390 pp.
- Janás J. (1985): Mezipředmětové vztahy a jejich uplatňování na základní škole. Univerzita J. E. Purkyně, Brno, 87 pp.
- Jelínek J., Zicháček V. (2007): Biologie pro gymnázia. Nakladatelství Olomouc, Olomouc, 575 pp.
- Kolibáč J., Hudec K., Laštůvka K., Peňáz M. a kolektiv (2019): Příroda České republiky: průvodce faunou. Academia, Praha, 466 pp.
- Kůrka A., Řezáč M., Macek R., Dolanský J. (2015): Pavouci České republiky. Academia, Praha, 622 pp.
- Lellák J., Kořínek V., Fott J., Kořínková J., Punčochář P. (1982): Biologie vodních živočichů. Univerzita Karlova, Praha, 220 pp.
- Matyášek J., Hrubý Z. (2017): Přírodopis pro 9. ročník. Nová škola, Brno, 132 pp.
- McGavin G. C. (2005): Hmyz, pavoukovci a jiní suchozemští členovci. Knižní klub, Praha, 256 pp.
- Meyer-Rochow V. B. (2014): Compound eyes of insects and crustaceans: Some examples that show there is still a lot of work left to be done. Insect Science, Volume 22, Issue 3: 461-481. [online]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1744-7917.12117>

Pelikánová I., Čábradová V., Hasch F., Sejpka J., Šimonová P. (2021): Přírodopis 6: pro základní školy a víceletá gymnázia. Fraus, Plzeň, 120 pp.

Randa M., Havel V., Kéhar O., Kohout V., Kratochvíl P., Masopust P., Prošková J., Rauner K. (2021a): Fyzika 9: hybridní učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia. Fraus, Plzeň, 128 pp.

Randa M., Havel V., Kohout J., Kohout V., Kratochvíl P., Masopust P., Prošková J., Rauner K. (2021b): Fyzika 7: hybridní učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia. Fraus, Plzeň, 140 pp.

Rietschel S. (2015): Hmyz. REBO International CZ, Čestlice, 240 pp.

Sedlák E. (2003): Zoologie bezobratlých. Masarykova univerzita, Brno, 337 pp.

Seymour R. S., Hetz S. K. (2011): The diving bell and the spider: the physical gill of *Argyroneta aquatica*. *The Journal of Experimental Biology*, 214: 2175-2181. [online]. Dostupné z: https://cob.silverchair-cdn.com/cob/content_public/journal/jeb/214/13/10.1242_jeb.056093/5/2175.pdf?Expires=1692039377&Signature=zCUoG2kXLwJcSrI~SoWPCIOs0xIDR1sT~5c9oS7eA2YEmDBTKRMLu94D-GkMxVS-

Wok4Wz~ikcJ1Fgdg3bFUBqKUn9DRrs5BznXtrWPDPXqPFLnWVnzfD-bauEM-QNvj17wfYFUdBB2FCNFh~JnkzOfyS-JUjxA7ncXZxdTc2KV~vF~bkAZyW4~AKSMvx-85QTojEXtcf3GEETXMCBdgAOazmZ7qwCI2zZKUbihl9tMg3IU8dMVB-QF4MZjAJrr1QvCABgP7qn1diAueGj9bGRZNLGE2kYEBHVP-qxtkoqWEzbBdRNRxhnBB2njtBGQvUqp1t~twHg5xgN2POU619w__&Key-Pair-Id=APKAIE5G5CRDK6RD3PGA

Skalková J. (1962): Příspěvek k otázce mezipředmětových souvislostí. *Pedagogika*, (3/1962): K současným problémům školství a pedagogiky: 316-325. [online]. Dostupné z: <https://pages.pedf.cuni.cz/pedagogika/?p=5639>

Starý K., Rusek M. (2019): Rozvoj mezipředmětových vztahů ve škole. Univerzita Karlova, Praha, 42 pp. [online]. Dostupné z: https://pages.pedf.cuni.cz/sc25/files/2020/02/Rozvoj_mezipredmetovych_vztahu_.pdf

Suhr S. H., Song Y. S., Lee S. J., Sitti M. (2005): Biologically Inspired Miniature Water Strider Robot. *Robotics: Science and Systems*, 2005: 319-326. [online]. Dostupné z: <https://www.roboticsproceedings.org/rss01/p42.pdf>

Svoboda E., Bednařík M., Šíroká M. (2013): *Fyzika pro gymnázia – Mechanika*. Prometheus, Praha, 228 pp.

Školní vzdělávací program – 2. stupeň. (2013): *Základní škola a mateřská škola Ostrava, Ostrčilova 10, příspěvková organizace* [online]. Dostupné z: https://www.zsostrcilova.cz/soubory/prilohy/o_1fqt67tkv176d1k8v1io4iul8idb.pdf

Školní vzdělávací program pro gymnaziální vzdělávání. (2009): *Gymnázium, Olomouc – Hejčín, Tomkova 45* [online]. Dostupné z: <https://www.gytool.cz/soubory/skolni-vzdelavaci-program.pdf>

Školní vzdělávací program pro gymnaziální vzdělávání. (2020): *Gymnázium a Obchodní akademie Orlová, p. o.* [online]. Dostupné z: https://old.goa-orlova.cz/wp-content/uploads/2020/12/SVP-GYM4-od-1_10_2020-final-verze.pdf

Školní vzdělávací program pro základní vzdělávání. (2016): *Základní škola Vidče, okres Vsetín, příspěvková organizace* [online]. Dostupné z: https://zsvidce.cz/wp-content/files/SVP/Prirodopis_9.pdf

Školní vzdělávací program pro základní vzdělávání. (2020): *Gymnázium a Obchodní akademie, Orlová, p. o.* [online]. Dostupné z: https://old.goa-orlova.cz/wp-content/uploads/2020/12/Svp-G8-od-1_9_2020-final-verze.pdf

Školní vzdělávací program pro základní vzdělávání „Škola pro Evropu“. (2021): *Masarykova základní škola Plzeň, Jiráskovo náměstí 10, příspěvková organizace* [online]. Dostupné z: <https://masarykovazs.cz/wp-content/uploads/2023/03/SVP-ZV-2022.pdf>

Trna J. (2005a): *Didaktika přírodovědy a rámcové vzdělávací programy. Moderní trendy v přípravě učitelů fyziky 2. Rámcové vzdělávací programy. Západočeská univerzita, Plzeň, 160-166.* [online]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/51296257.pdf>

Trna J. (2005b): Nastává éra mezioborových didaktik?. Pedagogická orientace 2005, č. 1. Česká pedagogická společnost, Brno, 89-97. [online]. Dostupné z: <https://journals.muni.cz/pedor/article/download/1396/1033>

Vzdělávací program, studijní forma vzdělávání, Vyšší gymnázium, Biologie. (2009): Gymnázium, Blovice, Družstevní 650 [online]. Dostupné z: https://www.gblovice.cz/dokumenty/svp/bi_hi.pdf

Ward J. V. (1992): Aquatic insect ecology. 1. Biology and habitat. J. Wiley & Sons, Inc, Kanada, 425 pp.

Další zdroje

Rámcový vzdělávací program pro gymnázia. (2022), Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy, Praha, 104 pp. [online]. Dostupné z: <https://www.edu.cz/rvp-ramcove-vzdelavaci-programy/ramcove-vzdelavaci-programy-pro-gymnazia-rvp-g/>

Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání. (2021), Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy, Praha. 164 pp. [online]. Dostupné z: <https://www.edu.cz/rvp-ramcove-vzdelavaci-programy/ramcovy-vzdelavacici-program-pro-zakladni-vzdelavani-rvp-zv/>

The Ontario Curriculum, Grades 1-8: Science and Technology, 2022. (2022), Queen's Printer for Ontario, Ontario, 179 pp. [online]. Dostupné z: <https://assets-us-01.kc-usercontent.com/fbd574c4-da36-0066-a0c5-849ffb2de96e/a6136d61-3120-43f0-94a3-5859e0319382/The%20Ontario%20Curriculum%20Grades%201%E2%80%938%20Science%20and%20Technology%202022.pdf>